Die
Fehlerquellen des le Boulengé-Chronographen.

Eine Studie
über die Genauigkeitsgrenzen dieses Apparates.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät

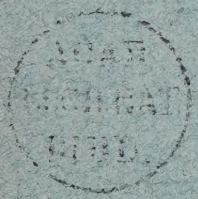
der

Friedrich-Alexanders-Universität Erlangen

vorgelegt

von

Richard Wurtzel
aus Berlin.



Tag der mündlichen Prüfung: 24. Juli 1902

Berlin SW. 11
Buchdruckerei des „Reichsboten", G. m. b. H.

Die
Fehlerquellen des le Boulengé-Chronographen.

Eine Studie
über die Genauigkeitsgrenzen dieses Apparates.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Alexanders-Universität Erlangen

vorgelegt

von

Richard Wurtzel

aus Berlin.

ACAD. LAUDABAT. BIBL.

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Juli 1902.

Berlin SW. 11

Buchdruckerei des „Reichsboten", G. m. b. H.

Meinen Eltern.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41540301_0054

Von den zur Bestimmung der Fluggeschwindigkeit von Geschossen dienenden Zeitmessern hat keiner eine so allgemeine Verwendung gefunden, wie der ursprünglich von dem belgischen Artillerie-Offizier P. le Boulengé konstruierte und nach ihm benannte Apparat. Der Grund für die weite Verbreitung dieses Apparates liegt darin, dass derselbe die Vorzüge einer einfachen Konstruktion, welche empfindliche, leicht in Unordnung geratende Teile vermeidet, sowie diejenigen einer äusserst leichten und bequemen Handhabung mit einem hohen Grad der Genauigkeit der Zeitmessungen vereinigt. Diese Eigenschaften machen den le Boulengé-Zeitmesser für den Gebrauch auf dem Schiessplatze ganz besonders geeignet und sind auch die Ursache, dass von den mancherlei ausserdem für den genannten Zweck in Vorschlag gebrachten und versuchsweise in Benutzung genommenen Chronographen bisher keiner im stande war, den von le Boulengé zu verdrängen. Der genannte Chronograph wird daher zur Zeit wohl in allen civilisierten Ländern bei praktischen ballistischen Messungen fast ausschliesslich verwendet.

Wenn der Apparat bisher bei physikalischen Untersuchungen nur wenig Verwendung gefunden hat, trotzdem er gerade hier als stets bereiter, genauer Zeitmesser mancherlei Vorteile bietet, so liegt dies wohl hauptsächlich daran, dass eine eingehendere Untersuchung seiner Wirkungsweise und seiner Fehlerquellen, aus der sich ein Urteil über die erreichbare Genauigkeit der Messungen bilden lässt, bisher nicht ausgeführt worden ist.

Eine derartige Untersuchung erscheint daher sehr wünschenswert, damit durch dieselbe der Physiker einen Anhalt über die Verwendbarkeit des Chronographen zu wissenschaftlichen Zeitmessungen erhält, während der praktische Ballistiker daraus entnehmen kann, bis zu welchem Grade der le Boulengé in seiner jetzigen Form den Anforderungen der experimentellen Ballistik genügt.

Es soll daher im folgenden, nach einer kurzen Erläuterung des Princips des Chronographen, zunächst seine Wirkungsweise betrachtet werden, um auf Grund dieser Betrachtungen die für die Konstruktion bezw. die Benutzung des Apparates massgebenden Bedingungen ableiten zu können. Hierauf soll festgestellt werden, inwieweit die jetzt gebräuchlichen Apparate diesen Bedingungen Genüge leisten. Um einen Anhalt über die zu erreichende Genauigkeit zu erhalten, werden alsdann in dem zweiten Teil dieser Abhandlung experimentelle Bestimmungen der wesentlichsten Fehlerquellen, sowie einige Beispiele von Flugzeiten-Messungen gegeben werden.

I. Teil.

Das Princip des le Boulengé-Apparates (s. Mémoire sur un chronographe électro-balistique par P. le Boulengé, Paris et Liége 1864) beruht auf den Gesetzen des freien Falles.

Zwei leichte, an ihren oberen Enden mit eisernen Polschuhen, an ihren unteren Enden mit massiven Metallköpfen versehene Messingröhren, das Gewicht G und der Zeitmesser Z (Fig. 1) hängen senkrecht an den Polen der Elektromagnete E_u und E_o herab.

Beim Beginn des zu messenden Zeitintervalles wird der Stromkreis des einen Elektromagneten, in der Regel derjenige von E_o, bei Beendigung des Intervalles wird der zweite Stromkreis E_u unterbrochen. Gewicht und Zeitmesser beginnen somit ihren Fall zu zwei, um die zu messende Zeitdifferenz auseinanderliegenden Zeitpunkten. Das Gewicht G schlägt nach einer gewissen Zeit, in der Regel ca. 0,15 Sek., auf einen an einem Hebelarm befestigten und mit diesem um die horizontale Achse A drehbaren Stahlteller T und bewirkt dadurch die Auslösung des an einer kräftigen Feder sitzenden Stahlmessers M. Das Messer M schlägt alsdann gegen den mit übergeschobener Zinkhülse versehenen, direkt vor ihm vorbeifallenden Zeitmesser Z und erzeugt hierdurch auf der Zinkhülse eine scharfe Marke 3 (Zeitmarke). Die Zeit-

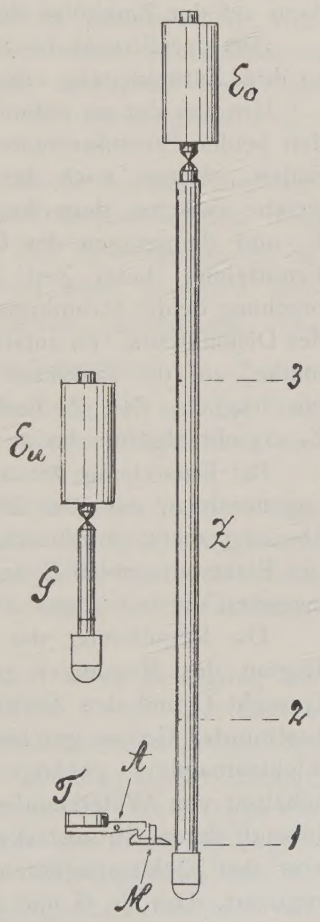


Fig. 1.

marke giebt den Weg an, welchen der frei fallende Zeitmesser vom Augenblick der Stromunterbrechung des Elektromagneten E_o bis zur Entstehung der Marke zurückgelegt hat, sobald auf der Zinkhülse der die Fallhöhe Null (Ruhelage des Zeitmessers) bezeichnende Punkt bekannt ist.

Dieser Nullpunkt lässt sich ohne weiteres dadurch bestimmen, dass bei angehängtem Zeitmesser das Stahlmesser M durch Niederdrücken des Tellers ausgelöst wird; es entsteht dann auf der Zinkhülse die gesuchte Nullmarke 1.

Aus der Strecke 1—3 lässt sich nach den Fallgesetzen die zu ihrer Zurücklegung erforderlich gewesene Zeit Z_1 bestimmen.

Um aus der so gefundenen Zeit die zu messende, zwischen den beiden Stromkreisunterbrechungen liegende Zeitdifferenz zu finden, ist nun noch die Kenntnis derjenigen Zeit notwendig, welche zwischen dem Augenblick der Stromunterbrechung von E_u und demjenigen der Entstehung der Zeitmarke liegt. Die Ermittelung dieser Zeit geschieht durch gleichzeitige Unterbrechung beider Stromkreise mittelst eines besonderen Apparates, des Disjonkteurs. Es entsteht hierbei eine Marke 2 (Disjunktionsmarke) auf der Zinkhülse und aus der Strecke 1—2 lässt sich die fragliche Zeit Z_2 finden. Die Differenz zwischen Z_1 und Z_2 ergiebt alsdann das zu messende Zeitintervall.

Bei Entstehung der in der Fig. 1 gezeichneten Marke 3 ist angenommen, dass der Strom des Elektromagneten E_o bei der Messung zuerst unterbrochen wurde; wird umgekehrt der Strom des Elektromagneten E_u zuerst unterbrochen, so fällt die Marke 3 zwischen die mit 1 und 2 bezeichneten Punkte.

Die Regulierung der Feldstärke der Elektromagnete vor Beginn der Messungen geschieht folgendermassen: Auf das Gewicht G und den Zeitmesser Z wird je ein Übergewicht von bestimmter Grösse geschoben, worauf G und Z an die erregten Elektromagnete gehängt werden. Durch allmähliches Einschalten von Widerständen in die beiden Stromkreise werden hierauf deren Stromstärken so lange verringert, bis G und Z von den Elektromagneten abfallen. Letztere sind alsdann so reguliert, dass sie G und Z nach Entfernung der Übergewichte gerade noch festhalten können.

Die Zinkhülse bedeckt die ganze Länge des Messingrohres des Zeitmessers, einschliesslich des Polschuhes. Dieselbe kann für eine grössere Anzahl von Messungen benutzt werden, da

durch eine geringe Drehung um ihre Achse nach jeder Messung neue, noch unbenutzte Teile ihrer Oberfläche vor die Messerkante gebracht werden können.

Betrachten wir jetzt die bei einer Zeitmessung sich vollziehenden Vorgänge:

Es sind hierbei, wie schon erwähnt, zwei verschiedene Fälle zu unterscheiden, je nachdem bei der Messung zuerst der Zeitmesserstrom oder der Gewichtsstrom unterbrochen wird. Im folgenden werden die beiden verschiedenen Messungsarten stets mit I und II bezeichnet werden, und zwar werde bei Messungsart I der Zeitmesserstrom, bei Messungsart II der Gewichtsstrom zuerst unterbrochen.

Bei Messungsart I möge die metallische Leitung des Zeitmesserstromes in dem Zeitpunkte t_Z unterbrochen werden, dann bleibt der Strom infolge des durch den Elektromagneten erzeugten Öffnungsfunkens noch während eines gewissen Zeitraums ε_Z^I, vom Zeitpunkt t_Z an gerechnet, geschlossen. Die Stromunterbrechung findet somit erst im Zeitpunkte $t_Z + \varepsilon_Z^I$ statt.

Im Augenblick der Stromunterbrechung wirken auf den, stets noch eine gewisse Menge permanenten Magnetismus besitzenden, eisernen Anker des Zeitmessers ein:

1. der infolge der Stromunterbrechung im Verschwinden begriffene temporäre Magnetismus des Elektromagneten,
2. der permanente Magnetismus des Elektromagnetkernes,
3. der noch geschlossene Elektromagnet des Gewichtsstromes.

Die Resultante aller dieser, auf den seine Bewegung beginnenden Zeitmesser einwirkenden Kräfte, wird ihrer Grösse nach sehr verschieden sein, je nach den Dimensionierungen der Elektromagnete, den Stromstärken und -richtungen, der Stellung der Elektromagnete zu einander und endlich den Stärken der permanenten Magnetismen der Eisenteile und deren Pol-Lagen; ihrer Richtung nach wird sie jedoch im Augenblick des Beginnens der Bewegung der Fallrichtung des Zeitmessers entgegenwirken, da in diesem Moment die noch vorhandenen anziehenden Kräfte zwischen Zeitmesser-Elektromagneten und Zeitmesser-Anker stets überwiegen werden. Die Beschleunigung des Zeitmessers beim Beginne seiner Bewegung ist daher $< g$.

Sobald die genannten anziehenden Kräfte nicht mehr überwiegen, kann die Beschleunigung des Zeitmessers $\gtrless g$ sein, je nach der Einwirkung des Gewichts-Elektromagneten auf den fallenden Zeitmesser, so dass, abgesehen von dem Einflusse des Luftwiderstandes, der freie Fall mit der Beschleunigung g erst nach Unterbrechung des Gewichtsstromes beginnen wird. Die gegenseitigen Einwirkungen der dann noch in den Eisenteilen vorhandenen permanenten Magnetismen auf die Fallbeschleunigung können in diesem Messungsstadium vernachlässigt werden.

Der zu einem bestimmten Augenblick von dem Zeitmesser zurückgelegte Weg sei gleich h.

Bestimmt man jetzt das nach den Gesetzen des freien Falles zur Zurücklegung der Strecke h erforderliche Zeitintervall, so wird dieses, infolge der eben erwähnten Beeinflussungen der Beschleunigung g, verschieden sein von dem in Wirklichkeit beim Durchlaufen der Strecke h verflossenen Zeitraum. Ist dieser Unterschied gleich ϱ_Z^I, so kommt es auf dasselbe heraus, ob der Zeitmesser die Strecke h, vom Augenblick $t_Z + \varepsilon_Z^I$ an gerechnet, mit den der Wirklichkeit entsprechenden Beschleunigungen durcheilt oder ob er vom Augenblick

$$Z_Z^I = t_Z + \varepsilon_Z^1 + \varrho_Z^I$$

ab die Strecke h mit der Beschleunigung g zurücklegt. Für die Messung kommt nur die bis zum Zeitpunkte Z_M^I des Entstehens der Zeitmarke vom Zeitmesser zurückgelegte Strecke in Betracht. Diese Marke wird durch Vermittelung des Gewichtes hervorgerufen.

Nimmt man nun an, dass die metallische Leitung des Gewichtsstromes zu dem auf t_Z folgenden Zeitpunkte t_G unterbrochen wird und dass die Stromunterbrechung im Zeitpunkte $t_G + \varepsilon_G^I$ stattfindet, wo ε_G^I die durch den Öffnungsfunken des Gewichtsstromes bewirkte Zeitdifferenz bezeichnet, so ergeben ähnliche Betrachtungen, wie die oben bei der Bewegung des Zeitmessers angestellten, für das Gewicht einen Unterschied ϱ_G^I zwischen der wirklichen und der theoretischen Fallzeit, welche bis zum Auftreffen des Gewichtes auf den Teller verfliesst, und man kann dementsprechend die Annahme machen, dass das Gewicht im Zeitpunkt

$$Z_G^I = t_G + \varepsilon_G^I + \varrho_G^I$$

seine Bewegung mit der konstanten Beschleunigung g beginnt.

Das auf den Teller aufschlagende Gewicht bewirke durch Auslösung des Messers die Entstehung der Marke auf dem Zeitmesser zur Zeit Z_M^I, dann ist:

$$Z_M^I = Z_G^I + \vartheta + \delta,$$

wo ϑ die von Z_G^I bis zum Aufschlagen des Gewichtes auf den Teller, δ die vom Moment des Aufschlagens bis zur Entstehung der Marke verflossene Zeit bezeichnet.

Zur Bestimmung der zu der Zeitmarke gehörenden Zeitdifferenz ist nun noch die Kenntnis der Lage der Disjunktionsmarke, d. h. derjenigen Marke, welche der Zeitdifferenz Null entspricht, erforderlich. Für diesen Fall ist $t_Z = t_G = t_o$ und man erhält, den vorstehenden Betrachtungen entsprechend, für die Disjunktionsmarke die Gleichungen:

$$Z_Z^\circ = t_o + \varepsilon_Z^\circ + \varrho_Z^\circ$$
$$Z_G^\circ = t_o + \varepsilon_G^\circ + \varrho_G^\circ$$
$$Z_M^\circ = Z_G^\circ + \vartheta + \delta$$

Die zwischen den Zeitpunkten Z_Z^I und Z_M^I verflossene Zeit ist nun eine Funktion $f(h^I)$ der durch die Marke bezeichneten Fallhöhe h,

$$Z_M^I = Z_Z^I + f(h^I).$$

Ferner ist nach dem Vorangegangenen:

$$Z_Z^I = t_Z + \varepsilon_Z^I + \varrho_Z^I$$
$$Z_G^I = t_G + \varepsilon_G^I + \varrho_G^I$$
$$Z_M^I = Z_G^I + \vartheta + \delta$$

Aus diesen Gleichungen folgt:

$$t_G - t_Z = f(h^I) + (\varepsilon_Z^I - \varepsilon_G^I) + (\varrho_Z^I - \varrho_G^I) - \vartheta - \delta$$

Die entsprechenden Gleichungen für die Disjunktionsmarke ergeben:

$$t^\circ - t^\circ = o = f(h^\circ) + (\varepsilon_Z^\circ - \varepsilon_G^\circ) + (\varrho_Z^\circ - \varrho_G^\circ) - \vartheta - \delta$$

und es ist die gesuchte Zeitdifferenz:

$$\textbf{I.}\quad \Theta = f(h^I) - f(h^\circ) + (\varepsilon_Z^I - \varepsilon_G^I) - (\varepsilon_Z^\circ - \varepsilon_G^\circ) + (\varrho_Z^I - \varrho_G^I) - (\varrho_Z^\circ - \varrho_G^\circ)$$

Ganz gleichartige Überlegungen führen für die Messungsart II, bei welcher zuerst der Gewichtsstrom unterbrochen wird, wo also der Zeitpunkt t_G vor den Zeitpunkt t_Z fällt, zu den Gleichungen:

$$Z_M^{II} = Z_Z^{II} + f(h^{II})$$
$$Z_Z^{II} = t_Z + \varepsilon_Z^{II} + \varrho_Z^{II}$$
$$Z_G^{II} = t_G + \varepsilon_G^{II} + \varrho_G^{II}$$
$$Z_M^{II} = Z_G^{II} + \vartheta + \delta$$

woraus folgt:

$$t_Z - t_G = -f(h^{II}) - (\varepsilon_Z^{II} - \varepsilon_G^{II}) - (\varrho_Z^{II} - \varrho_G^{II}) + \vartheta + \delta$$

und es ist daher in diesem Falle:

II. $$\Theta = f(h^\circ) - f(h^{II}) - (\varepsilon_Z^{II} - \varepsilon_G^{II}) + (\varepsilon_Z^\circ - \varepsilon_G^\circ) - (\varrho_Z^{II} - \varrho_G^{II}) + (\varrho_Z^\circ - \varrho_G^\circ)$$

Aus den Gleichungen I und II folgt ferner:

III. $$\Theta = \frac{F(h^I) - f(h^{II}) + (\varepsilon_Z^I - \varepsilon_G^I) - (\varepsilon_Z^{II} - \varepsilon_G^{II}) + (\varrho_Z^I - \varrho_G^I)}{2} - \frac{(\varrho_Z^{II} - \varrho_G^{II})}{2}$$

Die Gleichungen I bis III zeigen, dass die Genauigkeit der Zeitmessungen von der Beschaffenheit der ε und der ϱ abhängt und dass diese Genauigkeit um so grösser sein wird, je mehr die auftretenden, aus den ε bezw. den ϱ gebildeten Differenzen sich dem Nullwert nähern.

Der Einfluss des Luftwiderstandes auf die Bewegung des Gewichts bezw. des Zeitmessers ist, wie schon bemerkt, im vorstehenden nicht berücksichtigt worden. Werden Gewicht und Zeitmesser so hergestellt, dass ihre Querschnittsbelastungen während des Fallens gleich sind, so ist der Einfluss der Luft auf die Messungen nur eine Funktion der Fallhöhe. Bei der Erzeugung der Disjunktionsmarke ist die Fallhöhe für beide Fallgewichte gleich, der Einfluss des Luftwiderstandes auf die Lage der Disjunktionsmarke fällt somit fort[1]). Die Lage der

1) Streng genommen ist die Fallhöhe des Zeitmessers grösser und zwar um diejenige Strecke, welche der Zeit δ entspricht. δ ist, wie Messungen an dem Flugzeitenmesser No. 228 ergaben, ungefähr gleich 0,0015 Sekunden. Dieser Zeitdifferenz entspricht in der Nähe der Disjunktionsmarke eine Zunahme der Fallhöhe von nur ca. 2 *mm*. Ein so geringer Unterschied kommt aber hier praktisch nicht in Betracht.

Zeitmarken wird dagegen durch den Luftwiderstand derart beeinflusst, dass die gesuchte Zeitdifferenz stets zu klein ausfällt und zwar wird der Fehler bei der Messungsart I, entsprechend der grösseren Fallhöhe des Zeitmessers, grösser als bei Messungsart II sein. Der Einfluss des Luftwiderstandes als Funktion der Fallhöhe kann bestimmt und, falls erforderlich, als Korrektion an den Messungen angebracht werden.

Es entsteht nun die Frage, wie die aus den ε und den ϱ sich ergebenden Fehlerquellen durch die Konstruktion des Apparates nach Möglichkeit verringert werden können.

Der Einfluss dieser Fehler wird um so weniger in Betracht kommen, je mehr es gelingt, die verschiedenen ε bezw. die ϱ untereinander und ihrem absoluten Betrage nach, gleich und möglichst klein zu machen.

Die Grösse der ε ist von der Grösse der Öffnungsfunken der Stromkreise abhängig, es ist somit die Forderung zu stellen, dass, unter sonst gleichen Verhältnissen in den Stromkreisen, die durch die Elektromagnete hervorgerufenen Öffnungsfunken untereinander gleich und möglichst klein werden.

Hieraus ergeben sich folgende Konstruktionsbedingungen:

1. Beide Elektromagnete müssen gleiche Grösse, Form und Windungszahl erhalten, der Bewickelungsdraht muss bei beiden gleiche Länge und gleichen Querschnitt haben.
2. Die beiden Eisenkerne der Elektromagnete sind aus dem gleichen und gleich behandelten Material in gleichen Abmessungen herzustellen und in den Spulen in gleicher Lage unverrückbar zu befestigen.
3. Die beiden eisernen Anker der Fallgewichte müssen ebenfalls aus dem gleichen und gleich behandelten Rohmaterial hergestellt werden und untereinander gleich dimensioniert sein.
4. die Fallgewichte (Zeitmesser — einschliesslich Zinkhülse — und Gewicht) müssen gleich schwer sein.
5. Zeitmesser und Gewicht sind möglichst leicht zu machen, damit schwache Elektromagnete Verwendung finden können, ihr Gewicht muss jedoch anderseits so gross sein, dass eine stets gleichmässige Auslösung des Messers erreicht wird.

6. Der Induktionskoefficient der Elektromagnete soll möglichst klein sein.

Die Erfüllung der Bedingungen 1 bis 4 bietet den weiteren Vorteil, dass bei der Regulierung der Elektromagnete dasselbe Übergewicht benutzt werden kann, wodurch auch die Stromstärken in beiden Stromkreisen gleich gross werden.

Wir gehen jetzt zur Betrachtung der die Grösse der ϱ beeinflussenden Umstände über.

Die ϱ_Z bezw. die ϱ_G sind Funktionen der von dem Zeitmesser bezw. dem Gewicht zurückgelegten Fallhöhen h, also auch der zum Durchlaufen dieser Fallhöhen erforderlichen Zeiten. Da diese Fallzeiten von jedem der Elektromagnete beeinflusst werden, so lange der betreffende Stromkreis geschlossen ist, so werden die ϱ

1. sich mit der zu messenden Zeitdifferenz Θ ändern,
2. bei gleichem Θ verschieden sein, je nachdem nach Messungsart I oder II gemessen wird, d. h. je nachdem der Zeitmesser-Elektromagnet bezw. der Gewichts-Elektromagnet zuerst geöffnet wird.

Diese Änderungen der ϱ mit der zu messenden Zeit, bezw. mit der Messungsart, sind bei allen bisherigen nach dem le Boulengé-Princip konstruierten Flugzeitenmessern vorhanden, ihr Einfluss auf die Messungen wird um so geringer, je schwächere Elektromagnete der betreffende Flugzeitenmesser besitzt.

Wie am Schlusse des I. Teiles gezeigt werden soll, ist es jedoch möglich, durch eine geeignete Anordnung zu erzielen, dass weder die zu messende Zeit, noch die Messungsart eine Änderung der Grösse der ϱ bewirken, abgesehen von den Einflüssen der permanenten Magnetismen der Eisenteile. Diese Einflüsse können jedoch, falls erforderlich, durch den Chronographen selbst bestimmbar gemacht werden.

Die dem Apparat sonst noch anhaftenden, auf die Konstruktion der einzelnen Teile desselben zurückzuführenden Fehler, sollen später bei Besprechung der gebräuchlichen Apparatformen behandelt werden.

Zur Vermeidung äusserer, aus der Messungsanordnung etc. sich ergebender Fehlerquellen ist noch folgendes zu beachten:

Der Einfluss der durch die Batterie- und Induktionsströme hervorgerufenen allmählichen Erwärmung der Elektromagnete macht sich bisweilen in einer innerhalb gewisser Grenzen stattfindenden stetigen Veränderung der Markenlage bemerkbar. Dieser, von den benutzten Stromstärken, sowie von den Induktionskoefficienten der Elektromagnete abhängige Fehler, wird durch die Geschwindigkeit, in welcher die einzelnen Messungen aufeinander folgen, sowie durch die Zeitdauer, während welcher die Ströme dabei geschlossen sind, beeinflusst.

Da derselbe jedoch auch auf die Lage der Disjunktionsmarke in gleicher Art einwirkt, so kann er durch fortgesetzte Kontrolle dieser Marke unschädlich gemacht werden.

Bezüglich der Richtung der Ströme während der Messungen kommt in Betracht, dass die Eisenkerne und Eisenanker schon nach kurzem Gebrauch eine bemerkbare Menge permanenten Magnetismus besitzen und dass die Elektromagnete, je nach der Lage ihrer Pole zu einander, sich in ihrer anziehenden Wirkung auf die Fallgewichte gegenseitig stärken oder schwächen werden. Die Einstellung der Stärke der Magnetfelder mit Hilfe der erwähnten Übergewichte und ihre Einwirkung auf die Anker ist daher bei gleich gerichteten Strömen anders als bei ungleich gerichteten.

Wird z. B. nach erfolgter Einstellung beider Elektromagnete das eine Fallgewicht an seinem Magneten angehängt und hierauf der Strom des anderen Elektromagneten kommutiert, so tritt, wie der Versuch zeigt, häufig der Fall ein, dass das Gewicht herabfällt. Damit das Gewicht wieder vom Magneten gehalten werden kann, ist eine Neueinstellung des Elektromagneten notwendig. Hieraus folgt, dass ein Wechsel der Stromrichtung während der Messungen nicht zulässig ist.

Ferner wird es bei der Einstellung einen Unterschied ausmachen, ob während der Regulierung der Stromstärke beide Stromkreise geschlossen sind oder ob dies nur bei dem gerade zu regulierenden Elektromagneten der Fall ist. An und für sich ist es gleichgültig, in welcher dieser beiden Arten die Regulierung erfolgt, es ist nur notwendig, sich für eine Regulierungsart zu entscheiden und diese dann bei allen Messungen beizubehalten, damit die hierauf zurückzuführenden

Fehler die verschiedenen Messungen gleichmässig beeinflussen, so dass sie, falls sie sich bemerkbar machen sollten, durch die Anwendung beider Messungsarten eliminiert werden können.

Es soll nun untersucht werden, inwieweit die gebräuchlichen Flugzeitenmesser den nach dem vorstehenden an sie zu stellenden Bedingungen Genüge leisten. Hierbei kommen zwei Konstruktionen in Betracht; einmal die zur Zeit allgemein verbreitete und benutzte Form und ferner eine erst neuerdings von der Firma A. u. R. Hahn in Cassel auf Veranlassung des Militärversuchsamtes zu Berlin unter Berücksichtigung langjähriger Erfahrungen ausgeführte Konstruktion. Beide Chronographen sind in Fig. 2 (Neukonstruktion) und 3 (gebräuchliche Konstruktion) dargestellt, und zwar bezeichnet:

S die zur Befestigung der beiden Elektromagnete dienende Säule,

E_u den unteren, das Auslösegewicht G (Gewicht) und

E_o den oberen, das Zeitmessergewicht Z (Zeitmesser) tragenden Elektromagneten,

(In Fig. 2 sind die Gewichte G und Z im herabgefallenen, in Fig. 3 im angehängten Zustande dargestellt.)

A die Auslösevorrichtung für das die Zeitmarken erzeugende Stahlmesser M (Fig. 3),

H eine Metallhülse, welche ein Herunterfallen des Gewichtes G von dem Aufschlagteller T der Auslösevorrichtung verhindert,

K einen, in den Figuren nur teilweise sichtbaren, zum Auffangen des herabfallenden Zeitmessers Z dienenden Korb.

Der ganze Apparat ist auf dem schweren eisernen Untergestell U, von welchem nur der obere Teil sichtbar ist, befestigt.

U steht mit drei kräftigen Stellschrauben, welche zum Vertikalstellen des Apparates dienen, auf dem Fussboden. (Die Vertikalstellung geschieht leicht und genau mit Hilfe des an seinem Elektromagneten aufgehängten, als Lot dienenden Zeitmessers Z.)

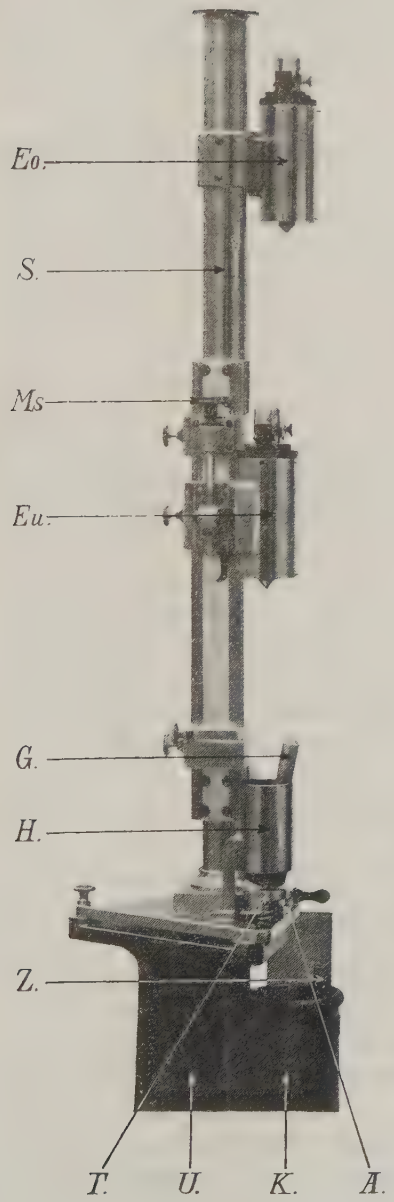


Fig. 2.

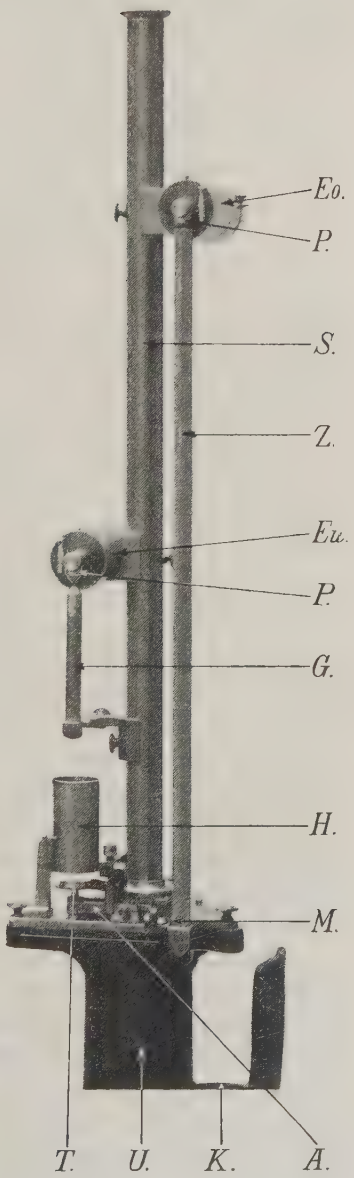


Fig. 3.

Sehen wir nun zunächst, wie die auf Seite 13 unter 1 bis 4 aufgestellten Bedingungen von den Apparaten erfüllt werden.

Bei der gebräuchlichen Form ergiebt sich hierbei, dass

zu 1 die Bewickelungsart nicht immer bei beiden Elektromagneten gleich ist,

zu 2 die Eisenkerne der Elektromagnete aus zwei getrennten Stücken bestehen, von denen das eine zur Regulierung der Feldstärke des Elektromagneten durch ein Schraubengewinde verstellbar ist,

zu 3 die Anker der Fallgewichte ungleich dimensioniert sind,

zu 4 die Fallgewichte verschieden schwer sind.

Von den Bedingungen wird somit 1 nur teilweise, 2 bis 4 überhaupt nicht erfüllt.

Ein ganz besonderer Nachteil liegt in der Verstellbarkeit der Eisenkerne, welche eine Gleichmässigkeit der Fehlerquellen und somit eine eventuelle Berücksichtigung derselben ganz ausschliesst.

Die neueren Vorschriften über den Gebrauch der le Boulengé-Apparate weisen aus diesem Grunde auch noch besonders darauf hin, dass die Regulierung der Feldstärke nur durch in die Stromkreise eingeschaltete Regulierwiderstände und nicht durch Verschieben des Eisenkernes erfolgen darf. Eine sichere Vermeidung der aus dieser Konstruktionsart sich ergebenden Mängel wird jedoch erst erreicht werden, wenn die zweiteiligen Kerne der Flugzeitenmesser durch einfache, unverrückbar befestigte ersetzt sind.

Die neue Form erfüllt die Bedingungen unter 1 und 2 und angenähert diejenige unter 4, zeigt somit einen wesentlichen Fortschritt in der Konstruktion.

Was die sonstige Konstruktion der Elektromagnete anbetrifft, so sei darauf hingewiesen, dass die Drahtspulen von messingenen Schutzhülsen umschlossen werden; diese Hülsen sind bei dem neuen Apparate zur Vermeidung von Wirbelströmen aufgeschnitten, bei den älteren Zeitmessern ist diese Verbesserung nur vereinzelt nachträglich angebracht worden. Ferner ist noch zu beachten, dass bei der Neukonstruktion die Längsachse der Elektromagnete senkrecht steht (Fig. 2), während sie bisher wagerecht lag (Fig. 3). Dadurch kommen die Polschuhe P (Fig. 3) in Fortfall und die zum Festhalten der Fall-

gewichte erforderliche magnetische Kraft kann, da die Pole jetzt nur noch wenig aus den Elektromagnetspulen herausragen, unter sonst gleichen Verhältnissen, mit geringerer Stromstärke erzielt werden[1]).

Die Berührung zwischen Pol und Anker findet bei beiden Konstruktionen nur in einer äusserst kleinen Fläche statt, da die konischen Enden dieser Eisenteile in eine Kugelfläche von sehr kleinem Krümmungsradius auslaufen (Fig. 4). Die Fallgewichte hängen daher stets an der gleichen Stelle und fallen leicht ohne in Betracht kommende Verzögerung ab.

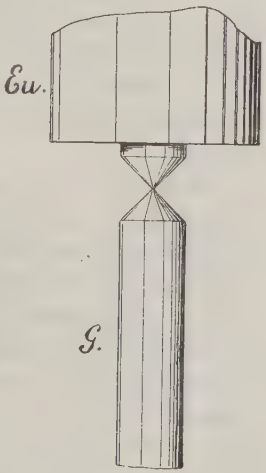


Fig. 4.

Sehr wesentlich für das exakte Funktionieren der Chronographen ist ferner eine gute Auslösevorrichtung, da von dieser die Apparatkonstanten ϑ und δ abhängig sind. Hauptbedingung für die Konstruktion der Auslösevorrichtung ist Einfachheit und Stabilität, damit durch das auf den Stahlteller T aufschlagende Gewicht G keine Lagenveränderungen oder Lockerungen einzelner Teile hervorgerufen werden können. Die bisher verwendeten Auslösevorrichtungen erfüllen, trotz mancherlei angebrachter Verbesserungen, diese Bedingung nicht und zwar hauptsächlich deshalb, weil sie einen in seiner Höhenlage verstellbaren Teller T (Fig. 3)[2]), sowie ein nur durch eine Druckschraube gehaltenes drehbares kreisförmiges Stahlmesser M (Fig. 3) besitzen, auch ist die Achsenlagerung des Auslösehebels zu wenig stabil.

---

1) Bei dem ersten von le Boulengé konstruierten Chronographen waren die Elektromagnete gleichfalls in senkrechter Stellung befestigt; diese Anordnung wurde jedoch sehr bald, aus nicht bekannt gewordenen Gründen, allgemein durch die wagerechte Befestigungsart ersetzt.

2) Durch die Verstellung von T wird die Fallhöhe des Gewichtes G etwas geändert. Eine solche Vorrichtung zur Regulierung der Fallhöhe von G ist jedoch nur erforderlich, wenn an dem zu dem Zeitmesser Z gehörenden Messlineal nicht Fallhöhen in $^1/_{10}$ *mm*, sondern Geschossgeschwindigkeiten in Metern pro Sekunde abgelesen werden sollen. Für diesen Fall besitzt das Messlineal eine zweite Teilung, welche, unter der Annahme, dass die beiden von dem fliegenden Geschoss auszulösenden Stromunterbrechungsstellen 50 *m* voneinander entfernt

Bei dem neuen Apparat sind diese Mängel vollkommen beseitigt. Sämtliche Teile sind kräftig konstruiert, Teller und Auslösehebel bestehen aus einem Stück, desgleichen bildet das gerade Messer mit seiner Messerfeder ein Stück und die Achsenlagerung ist sehr sicher. Auf die Einzelheiten der höchst einfachen Konstruktion soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Wie schon weiter oben erwähnt (s. S. 14) ändern sich bei allen bisher konstruierten le Boulengé-Chronographen infolge der verschiedenartigen Einwirkung der Elektromagnete aufeinander, sowie auf die Fallgewichte, die ϱ sowohl mit der zu messenden Zeit als auch mit der Messungsart. Diese Änderungen der ϱ könnten, abgesehen von den sehr geringen Einflüssen der permanenten Magnetismen, durch folgende Anordnung vermieden werden:

Die beiden vollkommen gleichartigen Elektromagnete werden in horizontaler Lage und in gleicher Höhe derart an der Säule des Chronographen befestigt, wie dies die Fig. 5 (a—c) angiebt.

Bei dieser Anordnung sind die Einwirkungen der Elektromagnete aufeinander, sowie auf die Fallgewichte, für beide Messungsarten, infolge der gleichen Höhenlage der Elektromagnete gleich. Ferner liegt aber auch, und dies ist für die Abhängigkeit der ϱ von der zu messenden Zeit wichtig, bei angehängten Fallgewichten jeder der beiden Pole des Zeitmesserankers gleich weit entfernt von den beiden Polen des Gewichtselektromagneten und umgekehrt jeder der beiden Pole des Gewichtsankers gleich weit von den Polen des Zeitmesserelektromagneten. Die Einwirkungen der Pole des noch geschlossenen Elektromagneten auf die Bewegung des Ankers des schon geöffneten Elektromagneten heben sich daher praktisch gegenseitig auf.

Nach dem eben entwickelten Princip ist es somit möglich, einen Chronographen zu konstruieren, bei welchem die Einflüsse der temporären Magnetismen auf die Messungen von keinem Einfluss sind.

---

sind, direkt die Geschossgeschwindigkeit angiebt. Diese Teilung hat jedoch nur Gültigkeit, wenn die Disjunktionsmarke in einer genau bestimmten Höhe liegt, deren Einstellung durch Änderung der Höhenlage des Tellers erfolgt. Bei dem neuen Apparat, welcher keinen verstellbaren Teller hat, geschieht diese Einstellung weit besser durch Verschiebung des Elektromagneten E_u (Fig. 2) mittelst der Mikrometerschraube M_s.

Der Einfluss der permanenten Magnetismen lässt sich, der Natur der Sache nach, bei der vorgeschlagenen Neuanordnung der Elektromagnete ebensowenig beseitigen, wie bei den bisher

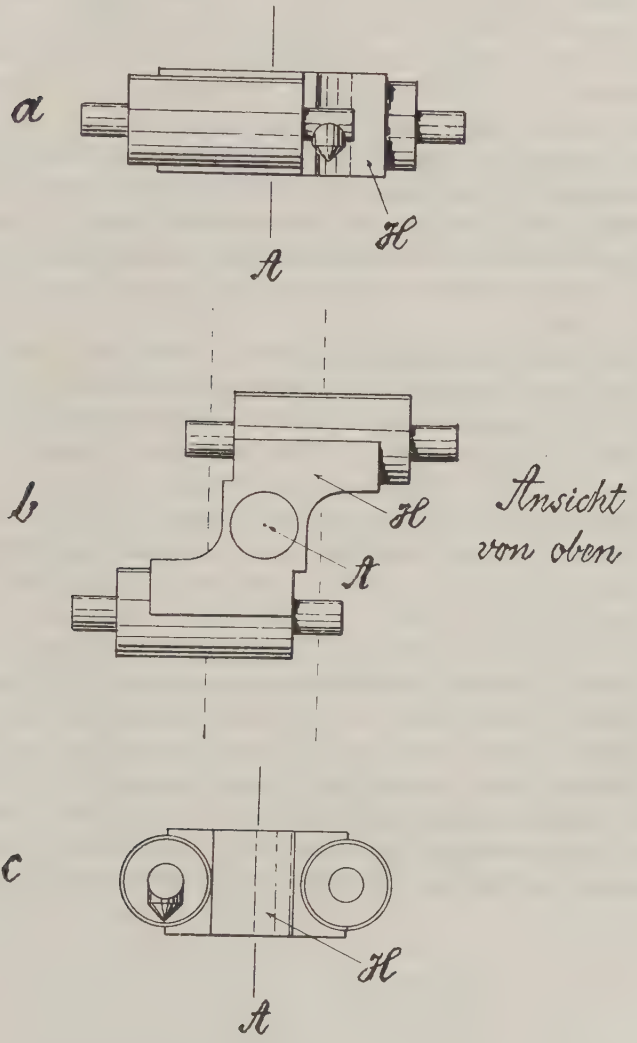


Fig. 5.

ausgeführten Apparaten, wohl aber lässt er sich, was bisher nicht möglich war, bestimmen (falls er eine nachweisbare Grösse erreicht) und somit auch berücksichtigen.

Es ist zu diesem Zweck nur nötig, die beiden Elektromagnete in der vorstehend beschriebenen Stellung zu einander an einem gemeinschaftlichen Halter H (Fig. 5) unveränderlich zu befestigen, den Halter dagegen so einzurichten, dass er sich um die senkrechte Achse A in sicherer Führung um 180° drehen lässt. Durch eine derartige Drehung werden die Funktionen der Elektromagnete vertauscht, der Zeitmesser-Elektromagnet wird Gewichts-Elektromagnet und umgekehrt, wodurch sich ein eventueller verschiedenartiger Einfluss der permanenten Magnetismen der Elektromagnete feststellen lässt.

Die eisernen Anker der beiden Fallgewichte wären ebenfalls auswechselbar zu machen, so dass auch eine Untersuchung über den Einfluss ihrer permanenten Magnetismen vorgenommen werden kann.

Bei der vorgeschlagenen gleichen Höhenlage der Elektromagnete muss naturgemäss das »Gewicht« für den allgemein gebräuchlichen Messbereich (Falldauer des Gewichtes 0,15 Sekunden) erheblich länger werden und sich mehr der Form des »Zeitmessers« nähern. Werden kürzere »Gewichte« als das eben genannte verwendet (mit grösserer Falldauer als 0,15 Sekunden), so rückt die Disjunktionsmarke mehr nach oben, der Messbereich von Messungsart I wird daher verringert, derjenige von II vergrössert.

Da jedoch bei höher liegender Disjunktionsmarke auch die Geschwindigkeit des Zeitmessers im Augenblick der Erzeugung der Marke grösser ist, so wird auch die Empfindlichkeit der Messungen in der Nähe der Disjunktionsmarke erhöht.

Man ist daher in der Lage, durch Verwendung verschieden langer Gewichte die Empfindlichkeit in der Nähe der Disjunktionsmarke zu ändern bezw. zu erhöhen, was für die Bestimmung sehr kleiner Zeitdifferenzen von Wichtigkeit ist.

II. Teil.

Um einen Aufschluss über die Grösse und den Einfluss der erörterten Fehlerquellen zu bekommen, wurden mit zwei Flugzeitenmessern, und zwar mit einem Zeitmesser No. 152 der gebräuchlichen Konstruktion, sowie mit dem Zeitmesser neuer Konstruktion No. 228 vergleichende experimentelle Untersuchungen ausgeführt.

Diese Untersuchungen erstreckten sich auf folgende Punkte:

1. Welchen Einfluss üben verschieden grosse ε auf die Messungen aus?
2. Inwieweit ist ein Einfluss der ϱ auf die Messungen nachweisbar?

Ausserdem fanden noch einige die δ und ϑ betreffende Bestimmungen statt.

Zur Ausführung der Versuche wurde die Anordnung der Stromkreise derart getroffen, dass jeder der Elektromagnete der beiden Zeitmesser eine besondere Stromquelle und einen besonderen Stromkreis erhielt, die Stromkreise waren unter sich gleichartig angeordnet.

Man konnte somit, ohne Änderungen an der Aufstellung treffen zu müssen, je nach Bedarf mit dem einen oder dem anderen Chronographen unter gleichen äusseren Verhältnissen arbeiten. Die gesamte Anordnung ist aus Fig. 6 zu ersehen.

Es bezeichnen in der Figur:

B_G^n Akkumulatorenbatterie für den Gewichts - Elektromagneten des neuen Flugzeitenmessers,

B_Z^n Akkumulatorenbatterie für den Zeitmesser - Elektromagneten des neuen Flugzeitenmessers,

B_G^a Akkumulatorenbatterie für den Gewichts - Elektromagneten des alten Flugzeitenmessers,

B_Z^a Akkumulatorenbatterie für den Zeitmesser - Elektromagneten des alten Flugzeitenmessers,

Versuchsanordnung.

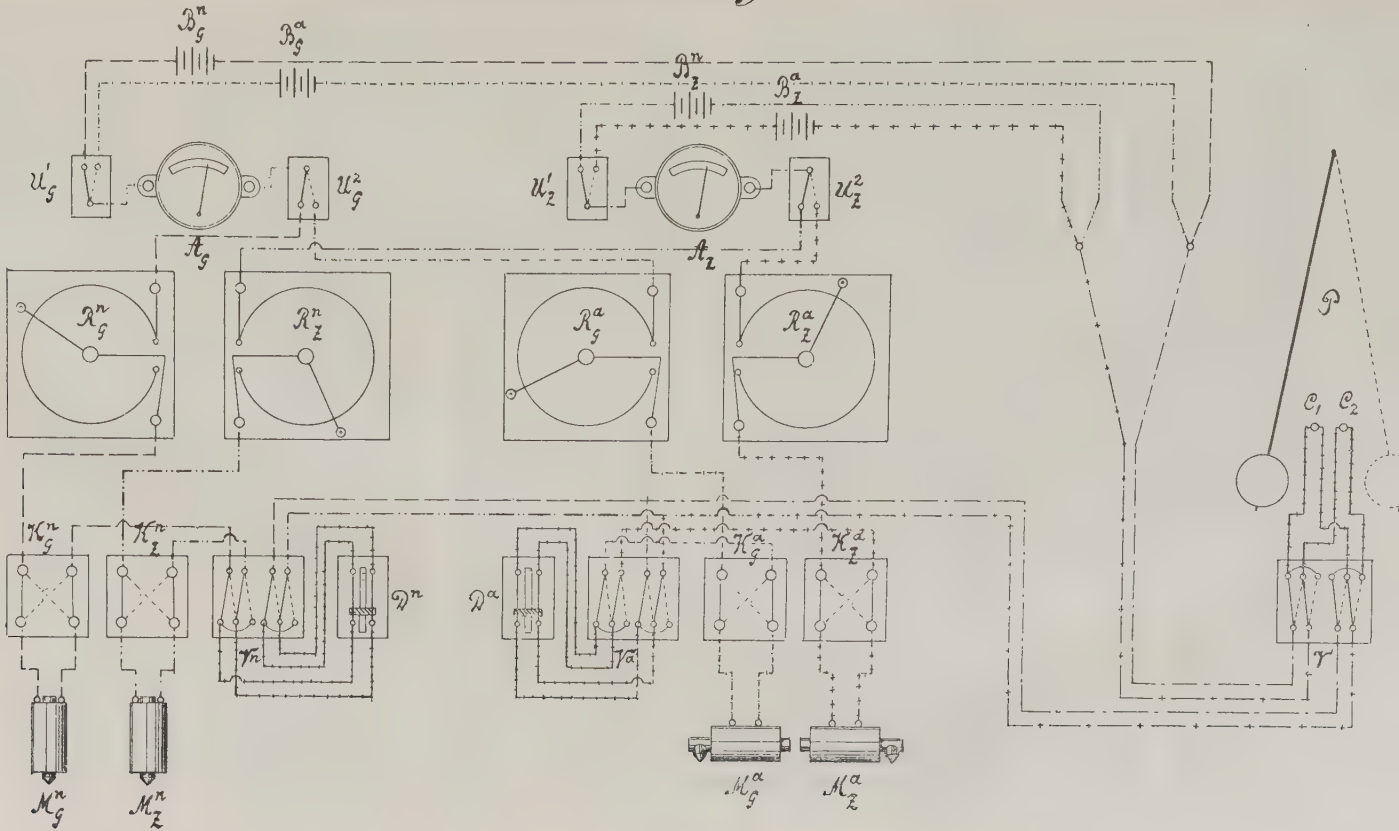


Fig. 6.

A_G und A_Z Ampèremeter für den Stromkreis des Gewichts- bezw für denjenigen des Zeitmesser-Elektromagneten,

U_G^1, U_G^2, U_Z^1 und U_Z^2 Umschalter für die Ampèremeter, um dieselben je nach Bedarf in den Stromkreis des alten oder des neuen Flugzeitenmessers einschalten zu können,

R_G^n, R_Z^n, R_G^a und R_Z^a induktionsfreie Regulierwiderstände zur Regulierung der Stromstärke bezw. des magnetischen Feldes der vier Elektromagnete,

K_G^n, K_Z^n, K_G^a und K_Z^a Stromwender für die Elektromagnete,

M_G^n, M_Z^n, M_G^a und M_Z^a die Elektromagnete der Flugzeitenmesser,

D^n und D^a die Disjonkteure zur gleichzeitigen Unterbrechung beider Ströme eines Flugzeitenmessers,

V^n und V^a Stromvertauscher für D^n und D^a,

(Diese Stromvertauscher haben den Zweck, die beiden durch den Disjonkteur geleiteten Stromkreise miteinander vertauschen zu können. Hierdurch wird eine Kontrolle über die gleichzeitigen Stromunterbrechungen durch den Disjonkteur ausgeübt, indem seine beiden Öffnungsstellen in Bezug auf die Stromkreise vertauscht werden; die Lage der Disjunktionsmarke soll alsdann, bei richtig justiertem Disjonkteur vor und nach der Stromvertauschung die gleiche sein.)

V Stromvertauscher für die Pendelkontakte,

(Mit Hilfe des Stromvertauschers V können die Pendelkontakte je nach Bedarf so in die Stromkreise eingeschaltet werden, dass entweder der Zeitmesserstrom (Messungsart I) oder der Gewichtsstrom (Messungsart II) zuerst durch das Pendel unterbrochen wird. Durch Umlegen von V werden daher die Messungsarten geändert.)

P Pendelunterbrecher,

C_1 und C_2 Pendelkontakte.

Der Verlauf der Stromkreise ist aus Fig. 6 gleichfalls zu entnehmen.

Das Pendel P dient zur Erzeugung der zu messenden Zeitdifferenz. Diese Zeitdifferenz muss so konstant sein, dass

Schwankungen derselben gegenüber den Messungsschwankungen der Flugzeitenmesser vernachlässigt werden können.

Betreffs der allgemeinen Einrichtung, des Gebrauchs und der Genauigkeit des benutzten Pendelunterbrechers sei auf die Abhandlung von W. Wolff in den »Mitteilungen des Artillerie- und Genie-Wesens, Wien 1895«: Über eine Pendelvorrichtung zur Prüfung ballistischer Chronographen« verwiesen, hier soll nur noch auf einige, von dem Verfasser obiger Abhandlung inzwischen angebrachte Änderungen hingewiesen werden.

Die von der schwingenden Pendelstange auszulösenden beiden Kontakte liegen nicht mehr übereinander, sondern sind beide in gleicher Höhe an der unteren Schiene des Pendelapparates befestigt. Die obere Schiene ist ganz in Fortfall gekommen. Zum Zwecke der Einstellung verschiedener Zeitintervalle werden die Auslösevorrichtungen mittels einer halb rechtsgängig und halb linksgängig geschnittenen Mikrometerschraube gleichzeitig um gleiche Strecken, aber nach entgegengesetzten Richtungen verschoben, die Verschiebung ist an einer Skala, sowie an einer Mikrometertrommel ablesbar.

Steht der Index der Teilung auf Null, so werden beide Kontakte gleichzeitig von der Pendelstange in dem Moment ausgelöst, in welchem das Pendel durch seine Nulllage schwingt, das Pendel kann somit direkt zur Erzeugung der Disjunktionsmarke benutzt werden. Da die beiden Kontakte durch die Mikrometerschraube stets um gleiche Strecken von ihrer, der Ruhelage des Pendels entsprechenden, Nullstellung verschoben werden, so ist auch, für eine bestimmte Entfernung der Kontakte voneinander, die Auslösungsgeschwindigkeit durch die Pendelstange stets die gleiche bei beiden Kontakten. Hierdurch wird eine durchaus gleichartige Unterbrechung beider Stromkreise erreicht, was bei dem früheren Pendelapparat nicht der Fall war.

Die zur Bestimmung des Einflusses der ε erforderlichen Änderungen iu der Zeitdauer der Öffnungsfunken beider Stromkreise wurden durch Einschaltung verschiedenartiger Induktionsspulen hervorgebracht.

Zur Verwendung gelangten:

	Henry
1. Spule A ohne Eisenkern, Induktionskoefficient	0,0169[1])
2. „ A mit „ „	0,1271
3. „ B ohne „ „	0,302
4. „ B mit „ „	1,135

Die für jeden Chronographen unter sich gleichartigen Elektromagnete hatten beim Apparat:

Nr. 152 (alt) einen Induktionskoefficienten von 0,188
Nr. 228 (neu) „ „ „ 0,190

Als Beispiel der Änderung des Selbstinduktionskoefficienten mit der Stromstärke dienen folgende, für den Zeitmesser-Elektromagneten des Chronographen Nr. 228 geltenden Werte:

Strom im Elektromagneten	Selbstinduktions-koefficient
0,042 Ampère	0,185 Henry
0,115 „	0,188 „
0,290 „	0,190 „
0,351 „	0,190 „

Jeder dieser Selbstinduktionskoefficienten ist das Mittel aus vier mit verschiedenen Kondensatoren ausgeführten Einzelbestimmungen. Die Genauigkeit dieser Einzelbestimmungen zeigt nachstehendes Beispiel:

Stromstärke	Kondensator	Henry
0,115 Ampère	0,882 Mikrofarad	0,1880
	0,785 „	0,1885
	0,686 „	0,1880
	0,494 „	0,1888

Bei angehängtem Zeitmesseranker stieg der Induktionskoefficient an bei der Stromstärke:

i = 0,042 Ampère auf 0,203 Henry
bei i = 0,349 „ „ 0,208 „

Weitere Bestimmungen über die Änderungen der Induktionskoefficienten mit der Stromstärke wurden nicht ausgeführt; die Kenntnis derselben war für die Untersuchungen nicht erforderlich, weil die durch Einschaltung der verschiedenen Spulen erzeugten Differenzen der ε durch die Chronographen selbst bestimmt werden konnten. Die mitgeteilten Induktionskoefficienten sollen nur einen Anhalt über ihre Grössenordnung geben.

---

1) Die Stromstärke betrug bei den Bestimmungen unter 1. und 2. 0,28 Amp., unter 3. und 4. 0,1 Amp.

Der Gang der zur Untersuchung der ε und ϱ ausgeführten Messungen war folgender:

Nachdem der Pendelunterbrecher auf eine bestimmte Zeitdifferenz eingestellt war, wurden mit dem zu untersuchenden Chronographen zehn vollständige Messungsreihen in der Weise ausgeführt, dass

1. für eine bestimmte Stellung des Stromvertauschers V^n bezw. V^a die Disjunktionsmarke 1 bestimmt wurde,
2. durch Auslösung des Pendels eine Zeitmessung nach Messungsart I und
3. nach Umlegen des Stromvertauschers V eine gleiche Messung nach Messungsart II ausgeführt und endlich
4. nach Umlegen des Stromvertauschers V^n bezw. V^a die Disjunktionsmarke 2 bestimmt wurde.

Nach der zehnten Messungsreihe fand noch einmal eine Bestimmung der Disjunktionsmarke 1 statt.

So ergaben sich z. B. für den Flugzeitenmesser No. 228 bei einer Unterbrechungszeit des Pendels von ca. 0,07 Sekunden folgende Höhenlagen der Marken auf der Zinkhülse (gemessen vom Nullpunkt):

	Disjunktions-Marke[1])	Messungsart I Marke	Messungsart II Marke
	mm	*mm*	*mm*
1	160,5 [1]	316,6	56,9
2	160,3 [2]	316,8	57,0
3	160,5 [1]	316,6	57,0
4	160,4 [2]	316,7	56,9
5	160,5 [1]	316,8	56,7
6	160,4 [2]	316,9	56,7
7	160,5 [1]	316,8	56,7
8	160,5 [2]	316,9	56,8
9	160,5 [1]	316,9	56,8
10	160,4 [2]	316,8	56,9
11	160,5 [1]		

1) Der Index 1 bezw. 2 bezeichnet, dass die Disjunktionsmarke 1 bezw. 2 genommen ist.

Die zu diesen Fallhöhen gehörenden Fallzeiten wurden hierauf aus einer von $^1/_{10}$ zu $^1/_{10}$ *mm* Fallhöhe fortschreitenden Tabelle direkt entnommen, wobei jedoch, zur Vermeidung von Ungleichmässigkeiten des Disjonkteurs, als Disjunktionsmarke stets das Mittel aus den am Anfang und Ende jeder Reihe bestimmten Disjunktionsmarken 1 und 2 genommen wurde.

Auf diese Weise kommt man zu folgenden Zeiten:

Disjunktionsmarke		Messungsart I		Messungsart II	
Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.
0,180 83	−3	0,254 05	−7	0,107 70	+ 6
83	−3	13	+1	80	+16
86	0	05	−7	80	+16
86	0	09	−3	70	+ 6
86	0	13	+1	51	−13
86	0	17	+5	51	−13
88	+2	13	+1	51	−13
88	+2	17	+5	61	− 3
86	0	17	+5	61	− 3
86	0	13	+1	70	+ 6
Mittel:		Mittel:		Mittel:	
s 0,180 86		s 0,254 12		s 0,107 64	
Fm s 0,000 00		s 0,000 01		s 0,000 03	
fm s 0,000 02		s 0,000 05		s 0,000 11	

Fm bezeichnet den mittleren Fehler des Mittels, fm denjenigen einer einzelnen Messung.

Die gesuchte, von dem Pendelunterbrecher hervorgerufene Zeitdifferenz bestimmt sich hieraus:

Nach Messungsart I	Nach Messungsart II
s 0,254 12 ± 1	s 0,180 86 ± 0
s − 0,180 86 ± 0	s − 0,107 64 ± 3
s 0,073 26 ± 1	s 0,073 22 ± 3

Es wurden sodann in den Stromkreis des Gewichts-Elektromagneten nacheinander eingeschaltet:

Spule A ohne Eisenkern
„ A mit „
„ B ohne „
„ B mit „

Für jede dieser Einschaltungen fand eine Neubestimmung der drei Markenlagen in der soeben angegebenen Art statt. Alsdann wurden die Messungen in der umgekehrten Reihenfolge wiederholt, so dass zuerst eine Bestimmung der Markenlagen bei eingeschalteter Spule B mit Eisenkern und zuletzt eine solche ohne Einschaltung der Induktionsspulen stattfand.

Man erhielt somit für die gewählte Einstellung des Pendelunterbrechers $2 \times 5 = 10$ Bestimmungen der drei Markenlagen, von denen

die 1. mit der 10.
„ 2. „ „ 9.
„ 3. „ „ 8.
„ 4. „ „ 7.
„ 5. „ „ 6.

gleichartig waren.

Die Mittel der Resultate der 1. und 10., 2. und 9. u. s. w. Bestimmungen bezeichneten dann die gesuchten Lagen der Marken, ausgedrückt in Fallzeiten.

Nachdem auf diese Weise die Änderungen der Markenlagen, welche verschieden grossen ε des Gewichtsstromes entsprechen, bestimmt worden waren, fanden dieselben Bestimmungen für den Zeitmesser-Stromkreis statt, indem jetzt die Zusatzspulen in gleicher Art in den Strom des Zeitmesser-Elektromagneten eingeschaltet wurden.

Die Ankerpole der Elektromagnete waren stets Nordpole.

Ein Beispiel, aus welchem man zugleich einen Anhalt über den Grad der Genauigkeit der erhaltenen Resultate erhält, folgt hier:

(Siehe Tabellen S. 31—35.)

Bestimmung des Einflusses verschieden grosser, in den Stromkreis des Gewichts-Elektromagneten eingeschalteter ε.

Flugzeitenmesser Nr. 228. — Unterbrechungsdauer ca. 0,07 Sekunden.

Stromstärke: Zeitmesser-Elektromagnet: 0,25 Amp. Gewichts-Elektromagnet: 0,35 Amp.

	Disjunkt.-Marke		Messungsart I		Messungsart II			Disjunkt.-Marke		Messungsart I		Messungsart II	
	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.		Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.
					Ohne Zusatzspulen.								
1.	0,18083	−3	0,25405	−7	0,10770	+6	10.	0,18088	−4	0,25401	−14	0,10761	−1
	083	−3	413	+1	780	+16		094	+2	409	−6	761	−1
	086	0	405	−7	780	+16		097	+5	417	+2	761	−1
	086	0	409	−3	770	+6		097	+5	409	−6	770	+8
	086	0	413	+1	751	−13		094	+2	421	+6	751	−11
	086	0	417	+5	751	−13		091	−1	417	+2	761	−1
	088	+2	413	+1	751	−13		091	−1	417	+2	751	−11
	088	+2	417	+5	761	−3		091	−1	409	−6	761	−1
	086	0	417	+5	761	−3		091	−1	425	+10	770	+8
	086	0	413	+1	770	+6		091	−1	421	+6	770	+8
Mittel . .	s 0,18086		s 0,25412		s 0,10764		Mittel . .	s 0,18092		s 0,25415		s 0,10762	
Fm . . .	s 0,00000		s 0,00001		s 0,00003		Fm . . .	s 0,00001		s 0,00002		s 0,00002	
fm . . .	s 0,00002		s 0,00005		s 0,00011		fm . . .	s 0,00002		s 0,00007		s 0,00007	
							Gesamtmittel $\frac{1. + 10.}{2}$ =	s 0,18089		s 0,25413		s 0,10763	

	Disjunkt.-Marke		Messungsart I		Messungsart II			Disjunkt.-Marke		Messungsart I		Messungsart II	
	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.		Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.
					Spule A ohne Eisenkern eingeschaltet.								
2.	0,18097	+6	0,25421	+ 9	0,10761	− 2	9.	0,18088	−2	0,25421	0	0,10742	−17
	094	+3	417	+ 5	761	− 2		086	−4	425	+4	742	−17
	094	+3	417	+ 5	761	− 2		086	−4	421	0	761	+ 2
	094	+3	405	− 7	761	− 2		088	−2	421	0	761	+ 2
	091	0	417	+ 5	770	+ 7		088	− 2	425	+4	761	+ 2
	086	−5	409	− 3	761	− 2		088	− 2	417	−4	770	+11
	086	−5	393	−19	742	−21		091	+1	425	+4	770	+11
	091	0	421	+ 9	770	+ 7		094	+4	417	− 4	761	+ 2
	088	−3	413	+ 1	770	+ 7		097	+7	417	−4	761	+ 2
	086	−5	404	− 8	770	+ 7		094	+4	417	−4	761	+ 2
Mittel . .	s 0,18091		s 0,25412		s 0,10763		Mittel . .	s 0,18090		s 0,25421		s 0,10759	
Fm . . .	s 0,00001		s 0,00003		s 0,00003		Fm . . .	s 0,00001		s 0,00001		s 0,00003	
fm . . .	s 0,00004		s 0,00009		s 0,00009		fm . . .	s 0,00004		s 0,00003		s 0,00010	

Gesamtmittel $\frac{2. + 9.}{2}$ = s 0,18090 s 0,25416 s 0,10761

	Disjunkt.-Marke		Messungsart I		Messungsart II			Disjunkt.-Marke		Messungsart I		Messungsart II	
	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.		Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.
	Spule A mit Eisenkern eingeschaltet.												
	0,18105	+ 8	0,25437	+ 14	0,10770	+ 1		0,18103	+ 1	0,25433	+ 4	0,10761	− 8
	097	0	429	+ 6	770	+ 1		102	0	457	+ 28	770	+ 1
	094	− 3	421	− 2	761	− 8		097	− 5	429	0	770	+ 1
	097	0	425	+ 2	770	+ 1		100	− 2	417	− 12	770	+ 1
	102	+ 5	425	+ 2	761	− 8		105	+ 3	437	+ 8	761	− 8
3.	100	+ 3	425	+ 2	770	+ 1	8.	100	− 2	429	0	780	+ 11
	097	0	421	− 2	761	− 8		097	− 5	433	+ 4	780	+ 11
	097	0	417	− 6	780	+ 11		097	− 5	417	− 12	770	+ 1
	091	− 6	417	− 6	780	+ 11		108	+ 6	421	− 8	761	− 8
	091	− 6	417	− 6	770	+ 1		108	+ 6	421	− 8	770	+ 1
Mittel . .	s 0,18097		s 0,25423		s 0,10769		Mittel . .	s 0,18102		s 0,25429		s 0,10769	
Fm . . .	s 0,00001		s 0,00002		s 0,00002		Fm . . .	s 0,00001		s 0,00004		s 0,00002	
fm . . .	s 0,00004		s 0,00006		s 0,00007		fm . . .	s 0,00004		s 0,00012		s 0,00007	
					Gesamtmittel	$\frac{3. + 8.}{2}$	=	s 0,18099		s 0,25426		s 0,10769	

	Disjunkt.-Marke		Messungsart I		Messungsart II			Disjunkt.-Marke		Messungsart I		Messungsart II	
	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.		Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.
	Spule B ohne Eisenkern eingeschaltet.												
4.	0,18117	− 14	0,25449	+ 1	0,10789	− 17	7.	0,18128	- 9	0,25497	+ 35	0,10799	0
	119	− 12	453	+ 5	809	+ 3		133	− 4	437	- 25	817	+ 18
	128	− 3	445	− 3	789	− 17		139	+ 2	449	- 13	799	0
	133	+ 2	477	+ 29	817	+ 11		136	− 1	501	+ 39	799	0
	139	+ 8	453	+ 5	809	+ 3		133	− 4	501	+ 39	789	− 10
	139	+ 8	441	- 7	827	+ 21		136	− 1	445	− 17	809	+ 10
	131	0	437	− 11	799	- 7		142	+ 5	457	- 5	789	− 10
	133	+ 2	433	- 15	799	- 7		142	+ 5	441	− 21	789	− 10
	136	+ 5	453	+ 5	809	+ 3		139	+ 2	445	− 17	799	0
	136	+ 5	437	− 11	809	+ 3		139	+ 2	445	− 17	799	0
Mittel . .	s 0,18131		s 0,25448		s 0,10806		Mittel . .	s 0,18137		s 0,25462		s 0,10799	
Fm . . .	s 0,00002		s 0,00004		s 0,00004		Fm . . .	s 0,00001		s 0,00008		s 0,00003	
fm . . .	s 0,00008		s 0,00013		s 0,00012		fm . . .	s 0,00004		s 0,00027		s 0,00009	
					Gesamtmittel $\frac{4. + 7.}{2}$		=	s 0,18134		s 0,25455		s 0,10802	

	Disjunkt.-Marke		Messungsart I		Messungsart II			Disjunkt.-Marke		Messungsart I		Messungsart II	
	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.		Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.	Sekunden	Diff.
					Spule B mit Eisenkern eingeschaltet.								
	0,18192	− 3	0,25617	+ 14	0,10864	− 113		0,18201	0	0,25653	+ 9	0,10986	+ 2
	192	− 3	573	− 30	11013	+ 36		201	0	656	+ 12	10967	− 17
	192	− 3	561	− 42	11004	+ 27		201	0	653	+ 9	10986	+ 2
	192	− 3	573	− 30	11013	+ 36		204	+ 3	617	− 27	10976	− 8
	195	0	656	+ 53	11023	+ 46		206	+ 5	645	+ 1	10958	− 26
5.	198	+ 3	621	+ 18	10967	− 10	6.	201	0	653	+ 9	10958	− 26
	198	+ 3	621	+ 18	10967	− 10		195	− 6	629	− 15	10976	− 8
	198	+ 3	613	+ 10	11023	+ 46		198	− 3	633	− 11	10967	− 17
	193	+ 3	537	− 66	10911	− 66		201	0	656	+ 12	11032	+ 48
	198	+ 3	660	+ 57	10986	+ 9		201	0	645	+ 1	11032	+ 48
Mittel . .	s 0,18195		s 0,25603		s 0,10977		Mittel . .	s 0,18201		s 0,25644		s 0,10984	
Fm . . .	s 0,00001		s 0,00013		s 0,00017		Fm . . .	s 0,00001		s 0,00004		s 0,00009	
* fm . . .	s 0,00003		s 0,00041		s 0,00053		fm . . .	s 0,00003		s 0,00014		s 0,00027	
							Gesamtmittel $\frac{5. + 6.}{2}$	s 0,18198		s 0,25623		s 0,10980	

Die Messungen zeigen, dass, wie auch zu erwarten war, mit steigendem Induktionskoefficienten, d. h. mit Vergrösserung der Dauer des Öffnungsfunkens, die Genauigkeit der Bestimmungen abnimmt.

Um Gewissheit zu erlangen, ob sich neben dem Einfluss der ε auch noch ein von der zu messenden Zeit abhängender Einfluss der ϱ auf die Markenlagen und somit auch auf die eigentlichen Zeitmessungen bemerkbar macht, wurden die Untersuchungen in der eben erörterten Weise für jeden der beiden Chronographen bei vier verschiedenen Zeitdifferenzen ausgeführt.

Diese durch Verstellung der Pendelkontakte erzielten Zeitdifferenzen betrugen:

1. . . . . ca. 0,001 Sekunden.
2. . . . . „ 0,035 „
3. . . . . „ 0,073 „
4. . . . . „ 0,105 „

Die Resultate der vorstehend angegebenen Untersuchungen sind in den Tabellen und Tafeln 1—10 auf Seite 66—85 zusammengestellt.

Betrachten wir zunächst die Einflüsse, welchen die Lage der Disjunktionsmarke unterworfen ist.

Die Differenz zwischen den Unterbrechungen der metallischen Stromleiter ist hier gleich Null zu setzen, da eine diesbezügliche, nach Justierung des Disjonkteurs etwa noch vorhandene, sehr geringe Zeitdifferenz durch die oben beschriebene Bestimmungsart der Disjunktionsmarke (Mittel aus Marke 1 u. 2) eliminiert worden ist.

Der Einfluss der ϱ wird bei gleicher Höhenlage der Disjunktionsmarke, d. h. bei unveränderter Stellung der Elektromagnete zu einander und zum Auslöseteller, stets der gleiche sein und sich somit nicht bemerkbar machen, dagegen werden Änderungen der ε auf die Lage der Disjunktionsmarke mit ihrer ganzen Grösse einwirken.

Ist das ε des Gewichtsstromes grösser als dasjenige des Zeitmesserstromes, so wird bei gleichzeitiger Unterbrechung der beiden metallischen Leitungen durch den Disjonkteur, die wirkliche Stromunterbrechung des Gewichtsstromes erst zu einer späteren Zeit als diejenige des Zeitmesserstromes erfolgen und zwar wird diese Zeitdifferenz gleich der Differenz der beiden ε

sein. (Die Fallzeit bis zur Markenhöhe wird um diese Differenz grösser als bei gleichen ε, die Marke rückt somit nach oben.) Umgekehrt wird, sobald das ε des Zeitmesserstromes grösser ist, erst dieser später unterbrochen werden, wobei die Zeitdifferenz wieder gleich der Differenz der beiden ε ist. (Die Fallzeit wird kleiner, die Marke rückt nach unten.)

Mit Hilfe der Disjunktionsmarke ist man somit in der Lage, die durch das Einschalten der Zusatzspulen in die Stromkreise erzeugten Änderungen der ε zu bestimmen, ohne eine Beeinflussung des Resultates durch die ϱ befürchten zu müssen.

Diese Differenzwerte der ε sind in den Tabellen 1–10, Spalte 5, angegeben und zwar kann man, da dieselben bei Einschaltung gleicher Zusatzspulen in die gleichen Stromkreise

Tabelle 11.

Flugzeitenmesser No. 152 (alt).

Änderungen der ε (in 10^{-5} Sekunden).

a) des Gewichtsstromkreises nach Einschaltung der Zusatzspulen.

	A ohne Kern	A mit Kern	B ohne Kern	B mit Kern
Tabelle No. 1.	−5	−11	−11	+ 9
„ „ 2.	+6	+ 9	+21	+40
„ „ 3.	−1	+ 2	+ 6	+20
„ „ 4.	+8	+22	+30	+43
Mittel	+2	+ 5,5	+11,5	+28

b) des Zeitmesserstromkreises nach Einschaltung der Zusatzspulen.

	A ohne Kern	A mit Kern	B ohne Kern	B mit Kern
Tabelle No. 1.	− 14	−47	−82	−147
„ „ 2.	0	−23	−62	−128
„ „ 3.	− 17	−25	−66	−128
„ „ 4.	− 8	−29	−76	−151
Mittel	−10	−31	−71,5	−138,5

stets gleich sein müssen, je vier zusammengehörige Werte der gesuchten Differenzen (aus den Zeiten 0,001, 0,035, 0,073 und 0,105 Sekunden) entnehmen.

Das Resultat ist aus den Tabellen 11 und 12 zu ersehen.

Tabelle 12.

Flugzeitenmesser No. 228 (neu).

Änderungen der ε (in 10^{-5} Sekunden).

a) des Gewichtsstromkreises nach Einschaltung der Zusatzspulen.

	A ohne Kern	A mit Kern	B ohne Kern	B mit Kern
Tabelle No. 7.	+ 1	+ 7	+ 31	+ 81
„ „ 8.	+ 6	+ 10	+ 37	+ 74
„ „ 9.	+ 14	+ 17	+ 43	+ 93
„ „ 10.	− 12	+ 4	+ 24	+ 48
Mittel. . . .	+ 2	+ 9,5	+ 34	+ 74

b) des Zeitmesserstromkreises nach Einschaltung der Zusatzspulen.

	A ohne Kern	A mit Kern	B ohne Kern	B mit Kern
Tabelle No. 7.	+ 5	− 11	− 35	− 73
„ „ 8.	− 5	− 7	− 22	− 64
„ „ 9.	+ 5	+ 1	− 34	− 77
„ „ 10.	− 8	− 9	− 30	− 72
Mittel. . . .	− 1	− 6,5	− 30	− 71,5

Die durch Einschaltung der verschiedenen Spulen in die Stromkreise hervorgerufenen Unterschiede der ε betragen somit auf 10^{-4} Sekunden abgerundet:

(Siehe Tabelle S. 39.)

Diese Grössen sind in den Tafeln 1 bis 4 und 7 bis 10 als Abscissen eingetragen, die zugehörigen Ordinaten sind aus den Differenzreihen der Spalten 3, 5 und 7 der Tabellen 1 bis 4

und 7 bis 10 entnommen. Die Ordinaten geben somit die den Änderungen der ε entsprechenden Änderungen der Zeitmarken für die Messungsarten I und II.

Stromkreis des	Amp.	Für Spule			
		A ohne Kern	A mit Kern	B ohne Kern	B mit Kern
Gewichtes von No. 152 . .	0,14	0	0,5	1	3
Zeitmessers von No. 152 .	0,41	1	3	7	14
Gewichtes von No. 228 . .	0,28	0	1	3	7
Zeitmessers von No. 228 .	0,25	(Mittel aus a und b)			

Für den vorliegenden Fall genügen diese Bestimmungen der ε-Unterschiede vollkommen. Genau genommen werden auch die ϱ von Einfluss auf die Messungen sein, sobald, wie dies beim Flugzeitenmesser No. 152 der Fall ist, die gleichen Elektromagnet-Spulen von ungleich starken Strömen durchflossen werden. Alsdann sind die ursprünglichen ε beider Stromkreise ungleich und die Unterbrechung der Ströme durch den Disjonkteur findet nicht gleichzeitig statt.

Die Bewegungen der Fallgewichte werden somit durch die ϱ verschiedenartig beeinflusst und dieser Einfluss macht sich bei der Bestimmung der durch die Spulen hervorgerufenen ε-Unterschiede bemerkbar. Die hierdurch hervorgerufenen Fehler können unter Umständen grösser als die zu bestimmenden ε-Werte sein, wie aus den negativen Zahlen der Tabelle 11a zu ersehen ist. Die Verschiebungen der Markenlagen bei Einschaltung der Spulen in den Gewichtsstromkreis finden hier in einer der Wirkungsweise der Spulen gerade entgegengesetzten Weise statt.

Die Lagen der Zeitmarken werden von den ϱ je nach der Messungsart verschieden beeinflusst, so dass, wenn auch im allgemeinen die in Sekunden ausgedrückten Verschiebungen der Zeitmarken von der Grössenordnung der ε-Änderungen sein werden, besonders bei stärkeren Elektromagneten und ungleichen

Stromstärken grössere Abweichungen zwischen beiden Messungsarten eintreten können.

Über die Grösse und die Art dieser Abweichungen lässt sich von vornherein nichts angeben, da die ϱ, wie im I. Teil gezeigt wurde, in komplizierter Weise sowohl von der Messungsart, als auch von der zu messenden Zeit abhängen.

Betrachten wir zunächst die Tabellen und Tafeln 1 bis 4, welche sich auf den Flugzeitenmesser No. 152 (alt) beziehen.

Bei diesem Apparat sind zwar die Elektromagnete gleich, dagegen ist das »Gewicht« erheblich leichter und besitzt ausserdem einen viel kürzeren Anker als der »Zeitmesser«. Das leichtere »Gewicht« erfordert eine geringere Stromstärke (0,14 Amp.) im Elektromagneten als der schwerere »Zeitmesser« (0,41 Amp.); beim Einschalten der Zusatzspulen in den Gewichtsstromkreis werden daher, entsprechend den kleineren ε, die Änderungen der Markenlagen weit geringer sein als bei der entsprechenden Einschaltung in den dreimal stärkeren Zeitmesserstromkreis. Ferner werden aber auch veränderliche Einflüsse der ϱ sich dadurch bemerkbar machen, dass die Messungsmarken I und II sich anders verschieben als die zugehörigen Disjunktionsmarken. Die Tafeln 1 bis 4 zeigen in der That

1. die sehr geringen Verschiebungen der Markenlagen bei Einschaltung der Zusatzspulen in den Stromkreis des schwach erregten Gewichts-Elektromagneten gegenüber den erheblichen Verschiebungen bei entsprechenden Änderungen des Zeitmesserstromkreises und
2. die von der Änderung der Disjunktionsmarke abweichenden Änderungen der zugehörenden Zeitmarken.

Besonders bemerkenswert ist Tafel 1 durch die starken Abweichungen zwischen den Markenverschiebungen nach Messungsart I und II bei Änderung der ε des Zeitmesserstromkreises. Auf den übrigen Tafeln sind derartig starke Abweichungen nicht vorhanden, die für Messungsart I und II aufgetragenen Kurven verlaufen sogar ziemlich gleichartig.

Die Erklärung dieser Abweichung ist darin zu suchen, dass die auf Tafel 1 dargestellten Markenverschiebungen bei einer sehr kleinen Zeitdifferenz zwischen der Auslösung der Pendelkontakte (ca. 0,0008 Sekunden) bestimmt worden sind. Es tritt infolgedessen der Fall ein, dass bei den Einschaltungen der Spule B die Differenz der beiden ε grösser wird als die Unterbrechungs-

dauer des Pendels. Die Unterbrechungen der metallischen Stromleitungen entsprechen daher der Messungsart I, dagegen findet die wirkliche Stromunterbrechung wie bei Messungsart II im Gewichtsstrom zuerst statt.

Auf die Änderungen der Markenlagen wirkt dann nur noch, abgesehen von den ϱ, der Unterschied zwischen der ε-Differenz und der Zeitdifferenz des Pendels ein.

Bei Einschaltung der Spulen in den Gewichtsstromkreis müsste, wie eine einfache Überlegung zeigt, unter gleichen Verhältnissen die Messungsmarke II stark beeinflusst werden, im vorliegenden Beispiel sind jedoch die ε-Differenzen des Gewichtsstromes stets kleiner als 0,0008 Sekunden, die erwähnte Beeinflussung tritt hier somit nicht ein.

Es soll nunmehr festgestellt werden, welchen Einfluss die ϱ auf die zu messende Zeit ausüben.

Ein solcher Einfluss würde sich dadurch bemerkbar machen, dass die nach beiden Messungsarten, unter Benutzung der Disjunktionsmarke, bestimmten gleichen Zeitdifferenzen des Pendelapparates verschieden gross ausfallen. Für eine bestimmte Pendeleinstellung müsste somit eine bestimmte Differenz zwischen Messungsart I und II vorhanden sein und diese Differenz müsste sich mit der Pendeleinstellung ändern.

Die Änderung wird voraussichtlich im allgemeinen um so grösser sein, je grösser die zu messende Zeit ist, da alsdann auch die Einwirkungszeit des noch geschlossenen Elektromagneten auf die Beschleunigung des schon in Bewegung befindlichen Fallgewichtes länger andauert.

Folgende Tabellen 13a) und b) geben eine Zusammenstellung der aus den Tabellen 1 bis 4, Spalte 10 entnommenen Zeitdifferenzen zwischen den Messungsarten I und II.

Die Abweichungen der ersten Spalte von b) (0,0008 Sekunden) von den übrigen erklären sich daraus, dass hier die Messungsart II unter veränderten Bedingungen stattfand (s. S. 40).

Es zeigt sich somit, dass bei dem Chronographen Nr. 152 (alt) die Differenzen zwischen den Messungsarten I und II, sowohl mit der zu messenden Zeit als auch mit der ε-Differenz sich ändern.

Die gleiche ε-Differenz wirkt somit auf die Messungsresultate bei verschiedenen zu messenden Zeiten verschieden

ein, doch ist eine ausgesprochene Gesetzmässigkeit in diesen Abweichungen nicht zu erkennen.

Tabelle 13.

Flugzeitenmesser No. 152 (alt).

Unterschiede zwischen Messungsart I und II in 10^{-4} Sekunden für verschiedene Zeiten des Pendelunterbrechers.

a) Bei Einschaltung der Zusatzspulen in den Gewichtsstrom.

	Eingeschaltete Spulen	Gemessene Zeiten in Sekunden			
		0,0008	0,035	0,073	0,105
1	Keine	0	+1	+1	+2,5
2	Spule A ohne Kern	−0,5	+0,5	0	+2,5
3	Spule A mit Kern	+1,5	+0,5	−1	−0.5
4	Spule B ohne Kern	0	0	+0,5	−2
5	Spule B mit Kern.	0	−1,5	−0,5	−3

b) Bei Einschaltung der Zusatzspulen in den Zeitmesserstrom.

	Eingeschaltete Spulen	Gemessene Zeiten in Sekunden			
		0,0008	0,035	0,073	0,105
1	Keine	+1	+ 1,5	− 0,5	0
2	Spule A ohne Kern	+2	+ 2	− 0,5	+ 1,5
3	Spule A mit Kern	+5,5	− 1,5	− 3,5	− 4
4	Spule B ohne Kern	+2	−10	−14,5	− 9,5
5	Spule B mit Kern.	−2,5	−30,5	− 38	−36

Bei gleicher gemessener Zeit macht sich ein zum Teil recht starker Einfluss der ε-Differenzen auf die beiden Messungsarten (bis zu 0,00375 Sekunden) bemerkbar. Dieser Einfluss nimmt mit wachsender ε-Differenz zu, wie aus der Tabelle 13 b) zu ersehen ist. Tabelle 13 a) zeigt die Zunahme nicht, da hier die ursprüngliche ε-Differenz beim Einschalten der Spulen erst verkleinert wird und dann erst nach Wechsel des Vorzeichens anwächst.

Es mögen jetzt die entsprechenden, mit dem Flugzeitenmesser No. 228 (neu) erhaltenen Resultate zusammengestellt werden.

Der neue Flugzeitenmesser No. 228 erfüllt, wie schon erwähnt, die im I. Teil aufgestellten Konstruktionsbedingungen weit besser als die bisherigen Apparate, mit Ausnahme der Bedingung 3 (s. S. 13), welche gleichdimensionierte Anker verlangt. Die Verschiedenheit der Anker bedingte aber, trotz gleicher Elektromagnete und nahezu gleich schwerer Fallgewichte (Gewicht 239 *g*, Zeitmesser mit Zinkhülse 234 *g*), die Verwendung verschiedener Stromstärken (Gewichts-Magnet 0,35 Amp., Zeitmesser-Magnet 0,25 Amp.). Die Messungsergebnisse sind aus den Tabellen und Tafeln 5 und 6 zu ersehen.

Nach Tabelle 5, Spalte 5 sind die als Abscissen in Tafel 5 eingetragenen Änderungen der ε bei Einschaltung der Spulen in den Gewichts-Stromkreis in 10^{-4} Sekunden ausgedrückt:

a) $+0{,}5 \quad +1{,}5 \quad +4{,}5 \quad +12$

und bei Einschaltung in den Zeitmesser-Stromkreis:

b) $+0{,}5 \quad +1 \quad -1{,}5 \quad -6{,}5$

Hier tritt somit wieder, wie die positiven Grössen der Reihe b) zeigen, ebenso wie in dem auf S. 39 angeführten Beispiel aus Tabelle 11 a) der Fall ein, dass die Verschiebungen der Markenlagen zum Teil in einer der Wirkungsart der eingeschalteten Spulen entgegengesetzten Weise stattfinden.

Die Zeitdifferenzen zwischen den Messungsarten I und II (Tabelle 5, Spalte 10) sind für eine gemessene Zeit von 0,073 Sekunden in 10^{-4} Sekunden ausgedrückt:

Einschaltung in den	Eingeschaltete Spulen				
	Keine	A ohne Kern	A mit Kern	B ohne Kern	B mit Kern
a) Gewichts-Stromkreis	−2	−2,5	−3	−5	−8
b) Zeitmesser-Stromkreis	−3	−2,5	−1,5	0	+2

Die ersten Differenzen gleich Null gesetzt ergeben sich die Reihen:

a) $0 \quad -0{,}5 \quad -1 \quad -3 \quad -6$
b) $0 \quad +0{,}5 \quad +1{,}5 \quad +3 \quad +5$

Die entsprechend gebildeten Reihen des Flugzeitenmessers No. 152 (alt) lauten für die gleiche Zeit von 0,073 Sekunden:

a) 0 −1 −2 − 0,5 − 1,5
b) 0 0 −3 −14 −37,5

Die Differenzen zwischen den Messungsarten I und II nehmen somit bei beiden Flugzeitenmessern bei Einschaltung der ε-Unterschiede zu und zwar wachsen dieselben bei der Beeinflussung des stärkeren der beiden Stromkreise jedes Apparates im negativen Sinne, bei Beeinflussung des schwächeren beim Apparat No. 228 im positiven Sinne. Der neue Flugzeitenmesser zeigt hierbei einen sehr gleichmässigen Gang der Differenzen.

Dieselbe Zeit von 0,073 Sekunden wurde hierauf mit dem Apparat No. 228 unter genau den gleichen Versuchsbedingungen bestimmt, mit dem einzigen Unterschiede, dass der Gewichts-Elektromagnet mit Hilfe seines Schlittens 50 *mm* höher festgestellt wurde. Die Resultate sind aus Tabelle und Tafel 6 zu entnehmen.

Die als Abscissen eingetragenen ε-Änderungen sind in 10^{-4} Sekunden ausgedrückt:

Beim Gewichts-Stromkreis: 0 +1 +4,5 +11
Beim Zeitmesser-Stromkreis: −1 −1,5 −3 − 7,5

Die Differenzen zwischen den Messungsarten I und II sind, in 10^{-4} Sekunden ausgedrückt:

Einschaltung in den	Eingeschaltete Spulen				
	Keine	A ohne Kern	A mit Kern	B ohne Kern	B mit Kern
Gewichts-Stromkreis	0	−0,5	−0,5	−1	+ 0,5
Zeitmesser- „	0	−0,5	−0,5	+0,5	−10,5

Die Änderung der ϱ infolge der Verschiebung des Gewichts-Elektromagneten hat somit eine beträchtliche Änderung der Differenzen zwischen den beiden Messungsarten ergeben.

Die Tafeln 5 und 6 haben Ähnlichkeit mit denen des Flugzeitenmessers No. 152, der Elektromagnet mit grösserer Stromstärke zeigt wieder die stärkeren Abweichungen zwischen den Verschiebungen der Messungsmarken und denjenigen der Disjunktionsmarken.

Weiter soll auf diese Messungen hier nicht eingegangen werden, da die Resultate der eigentlichen Vergleichsmessungen mit dem Flugzeitenmesser No. 228 erst in den Tabellen und Tafeln 7 bis 10 zusammengestellt sind. Letztere Messungen wurden ausgeführt, nachdem der eiserne Anker des Gewichtes durch den Zeitmesseranker eines anderen Flugzeitenmessers ersetzt worden war.

Hierdurch konnte eine gleichmässigere Dimensionierung beider Anker und somit auch eine nahezu gleiche Stromstärke in beiden Elektromagneten erreicht werden (Gewichtsstrom 0,28 Amp., Zeitmesserstrom 0,25 Amp.). In den genannten Tafeln fällt sofort der weit gleichmässigere Verlauf der Abweichungen der Messungsmarken und der Disjunktionsmarken auf. Tafel 7 zeigt ausserdem die auf S. 40 erörterten Abweichungen bei der Messung sehr kleiner Zeitdifferenzen in Gegenwart grösserer ε-Unterschiede.

Die Abweichungen treten hier, wie vorauszusehen war, bei grossen ε-Änderungen des Gewichtsstromkreises bei der Messungsart II, bei den entsprechenden Änderungen im Zeitmesserstromkreis jedoch bei der Messungsart I auf.

Stellen wir jetzt die der Tabelle 13 entsprechende Tabelle auf, so erhalten wir:

Tabelle 14.

Flugzeitenmesser No. 228 (neu).

Unterschiede zwischen Messungsart I und II in 10^{-4} Sekunden für verschiedene Zeiten des Pendelunterbrechers.

a) Bei Einschaltung der Zusatzspulen in den Gewichtsstrom.

	Eingeschaltete Spulen	Gemessene Zeiten in Sekunden			
		0,0006	0,035	0,073	0,105
1	Keine	0	0	−2	−4
2	Spule A ohne Kern	0	−1	−2	−4
3	Spule A mit Kern	0	0	−1	−3,5
4	Spule B ohne Kern	0	−2,5	−1	−4
5	Spule B mit Kern	−6	−0,5	−2,5	−3

b) Bei Einschaltung der Zusatzspulen in den Zeitmesserstrom.

	Eingeschaltete Spulen	Gemessene Zeiten in Sekunden			
		0,0006	0,035	0,073	0,105
1	Keine	0	0	− 1,5	− 3,5
2	Spule A ohne Kern	− 1	0	− 2	− 4,5
3	Spule A mit Kern	− 0,5	− 0,5	− 1,5	− 4,5
4	Spule B ohne Kern	+ 2,5	+ 1,5	0	− 1,5
5	Spule B mit Kern	+ 6	+ 6,5	0	+ 2,5

Nehmen wir aus den Tabellen 13 und 14 diejenigen Werte heraus, welche in den Reihen 1 stehen, so erhalten wir:

Unterschiede der Messungsresultate I und II in 10^{-4} Sekunden für die gemessenen Zeiten:

		s 0,0008	s 0,035	s 0,073	s 0,105
1	Flugzeitenmesser No. 152 . .	0	+ 1	+ 1	+ 2,5
		+ 1	+ 1,5	− 0,5	0

		s 0,0006	s 0,035	s 0,073	s 0,105
2	Flugzeitenmesser No. 228 . .	0	0	− 2	− 4
		0	0	− 1,5	− 3,5

Bei dem neuen Chronographen No. 228 steigen somit diese Unterschiede mit der zu messenden Zeitdifferenz stärker an[1]), der Anstieg ist jedoch regelmässig und voneinander getrennte Bestimmungen desselben geben gut übereinstimmende Werte, so dass diese eventl. zur Anbringung einer Korrektion an die gemessene Zeit Verwendung finden können.

Selbst absichtlich hervorgerufene Änderungen der ε-Differenzen üben, wie nachstehende Zusammenstellung der Reihen

1) Einfluss des kräftigeren Gewichts-Elektromagneten.

1 bis 3 der Tabellen 14a) und b) zeigt, innerhalb gewisser Grenzen keinen nennenswerten Einfluss auf diese Grössen aus.

Flugzeitenmesser No. 228.

	Gemessene Zeiten in Sekunden.			
	0,0006	0,035	0,073	0,105
Keine Spule	0	0	−2	−4
	0	0	−1,5	−3,5
Spule A ohne Kern	0	−1	−2	−4
	−1	0	−2	−4,5
Spule A mit Kern	0	0	−1	−3,5
	−0,5	−0,5	−1,5	−4,5
Mittel	0	0	−1,5	−4

Bei dem Chronographen No. 152 findet ein derartiger gleichmässiger Anstieg nicht statt.

Flugzeitenmesser No. 152.

	Gemessene Zeiten in Sekunden.			
	0,0008	0,035	0,073	0,105
Keine Spule	0	+1	+1	+2,5
	+1	+1,5	−0,5	0
Spule A ohne Kern	−0,5	+0,5	0	+2,5
	+2	+2	−0,5	+1,5
Spule A mit Kern	+1,5	+0,5	−1	−0,5
	+5,5	−1,5	−3,5	−4
Mittel	+1,5	+0,5	−0,5	+0,5

Die Ungleichmässigkeiten beim Apparat No. 152 dienen zugleich als Beweis, dass das regelmässige Anwachsen der Messungsdifferenzen mit der zu messenden Zeit bei No. 228 nicht auf den Einfluss des Luftwiderstandes zurückzuführen ist, da alsdann genau der gleiche Einfluss bei No. 152 auftreten müsste.

Von Wichtigkeit ist auch die Frage, welchen Einfluss etwaige während der Benutzung des Chronographen eintretende Stromschwankungen auf die Messungsresultate haben können.

Um hierüber Aufschluss zu erhalten, wurden mit dem Flugzeitenmesser No. 228 folgende Versuche ausgeführt:

Beide Elektromagnete wurden bei geschlossenen Stromkreisen mittels des normalen Übergewichtes[1]) reguliert. Die Stromstärken betrugen alsdann im Gewichtsstromkreis 0,35 Amp. und im Zeitmesserstromkreis 0,25 Amp. Hierauf fand eine Bestimmung der Lage der Disjunktionsmarke statt.

Die gleichen Bestimmungen erfolgten alsdann für die Stromstärken 0,27 und 0,30 Amp. des Zeitmesserstromkreises.

Es ergaben sich nachstehende Werte für die Disjunktionsmarke:

	Gewichtsstrom Amp.	Zeitmesserstrom Amp.	Disjunktionsmarke[2]) Sekunden
1	0,35	0,25	0,18066
2	0,35	0,27	0,18049
3	0,35	0,30	0,18026

Alsdann wurden die gleichen Messungen ausgeführt, nur mit dem Unterschiede, dass der Zeitmesser-Elektromagnet bei beiderseits geschlossenen Strömen, der Gewichts-Elektromagnet dagegen bei offenem Zeitmesserstrom eingestellt wurde.

1) Unter „normalem Übergewicht" ist das dem Apparat beigegebene Übergewicht zu verstehen. Im vorliegenden Fall war dasselbe 25 *g* schwer.

2) Die Zahlen sind Mittel aus je 5 Messungen. Die Disjunktionsmarke liegt nicht bei 0,15 Sekunden, da der Gewichts-Elektromagnet 50 *mm* über seiner Nullstellung befestigt ist.

Es ergab sich jetzt:

	Gewichtsstrom Amp.	Zeitmesserstrom Amp.	Disjunktionsmarke[1]) Sekunden
1	0,36	0,25	0,18063
2	0,36	0,27	0,18049
3	0,36	0,30	0,18026

In den verschiedenen Stärken des Gewichtsstromes beider Tabellen (0,35 und 0,36 Amp.) macht sich der Einfluss des geschlossenen Zeitmesser-Elektromagneten bemerkbar.

Bilden wir jetzt in beiden Zusammenstellungen die Differenzen der Reihen 2 – 1, 3 – 2 und 3 – 1, so erhalten wir:

Differenzen des Zeitmesserstromes Amp.	Verschiebungen der Disjunktionsmarke Sekunden	Sekunden
+ 0,02	– 0,00017	– 0,00014
+ 0,03	– 0,00023	– 0,00023
+ 0,05	– 0,00040	– 0,00037

Somit entspricht einer Änderung des Zeitmesserstromes von + 0,01 Amp. eine Verschiebung der Disjunktionsmarke von:

S	S
$0{,}00008_5$	$0{,}00007_0$
$0{,}00007_7$	$0{,}00007_7$
$0{,}00008_0$	$0{,}00007_4$
S	S
Mittel . . 0,00008	0,00007

Der Einfluss von 0,01 Amp. ist somit sicher nachweisbar, die überraschende Übereinstimmung der Einzelbestimmungen giebt zugleich ein Mass für die Güte der Messungen.

Es handelt sich jetzt darum, festzustellen, inwieweit die Zeitmessungen selbst durch die Stromänderungen beeinflusst werden.

1) Siehe Fussnote 2 auf Seite 48.

Zu diesem Zweck wurde die Zeit von 0,073 Sekunden nach den Messungsarten I und II gemessen, wobei die Stärken beider Stromkreise variiert wurden.

Die erhaltenen Resultate geben folgende Tabellen an:

Tabelle 15.

a).

	Gewichts-strom Amp.	Zeitmesser-strom Amp.	Disjunktions-marke Sekunden	Messungs-art I Sekunden	Messungs-art II Sekunden
1	0,35	0,25	0,18105	0,25433	0,10770
2	0,47	0,25	153	473	817
3	0,35	0,32	055	365	713
4	0,46	0,32	094	413	761

b).

	Gewichts-strom Amp.	Zeitmesser-strom Amp.	Disjunktions-marke Sekunden	Messungs-art I Sekunden	Messungs-art II Sekunden
1	0,28	0,25	0,15056	0,22389	0,07702
2	0,35	0,25	083	412	748
3	0,28	0,31	005	332	629
4	0,37	0,31	049	380	702

Die Zeiten in a) und b) sind Mittel aus je 10 Messungen. Die Bestimmungen unter a) wurden mit dem ursprünglichen Gewichtsanker, diejenigen unter b) mit dem umgeänderten Anker ausgeführt. Ausserdem lag der Gewichts-Elektromagnet bei a) 50 *mm* höher als bei b). Die Werte in a) und b) sind somit unter verschiedenen Versuchsbedingungen erhalten.

Aus a) Reihe 1 und 2, sowie 3 und 4 folgt:

Änderung des Gewichtsstromes	Änderungen der Markenlagen in 10^{-5} Sek.		
	Disjunkt.-Marke	Messungsart I	Messungsart II
+ 0,12 Amp.	+ 48	+ 40	+ 47
+ 0,11 „	+ 39	+ 48	+ 47
also + 0,01 „	+ 4	+ 3	+ 4
	+ 4	+ 4	+ 4
Mittel . . .	+ 4	+ 4	+ 4

Ferner aus den Reihen 1 und 3 sowie 2 und 4:

Änderung des Zeitmesserstromes	Änderungen der Markenlagen in 10^{-5} Sek.		
	Disjunkt.-Marke	Messungsart I	Messungsart II
+ 0,07 Amp.	− 50	− 68	− 57
+ 0,08[1]) „	− 59	− 60	− 56
also + 0,01 „	− 7	− 10	− 8
	− 7	− 8	− 7
Mittel . . .	− 7	− 9	− 8

In gleicher Weise lässt sich aus b) ableiten:

Änderung des Gewichtsstromes	Änderungen der Markenlagen in 10^{-5} Sek.		
	Disjunkt.-Marke	Messungsart I	Messungsart II
+ 0,07 Amp.	+ 27	+ 23	+ 48
+ 0,09 „	+ 44	+ 48	+ 73
also + 0,01 „	+ 4	+ 3	+ 7
	+ 5	+ 5	+ 8
Mittel . . .	+ 5	+ 4	+ 8

und:

1) 0,08 ist gebildet aus 0,07 = Zunahme des Zeitmesserstromes und 0,01 = Abnahme des Gewichtsstromes.

Änderung des Zeitmesserstromes	Änderungen der Markenlagen in 10^{-5} Sek.		
	Disjunkt-Marke	Messungsart I	Messungsart II
+ 0,06 Amp.	− 51	− 57	− 73
+ 0,04 [1]) „	− 34	− 32	− 46
also + 0,01 „	− 8	− 9	− 12
	− 8	− 8	− 11
Mittel . . .	− 8	− 9	− 12

Aus den Mittelwerten können die für eine Stromänderung von + 0,01 Amp. sich ergebenden Änderungen der Differenzen zwischen Messungsart I und II abgeleitet werden. (Für $\Theta = 0{,}073$ Sekunden.) Diese Änderungen betragen für die Bestimmungen unter a):

0,00000 Sekunden für Gewichtsstromänderungen
− 0,00003 Sekunden für Zeitmesserstromänderungen

und für b):

+ 0,00002 Sekunden für Gewichtsstromänderungen
− 0,00005 Sekunden für Zeitmesserstromänderungen.

Das normale Übergewicht des Apparates war wie schon erwähnt 25 *g* schwer. Um den Einfluss des Übergewichtes auf die Einstellung der Stromstärken zu bestimmen, wurden Magnet-Regulierungen mit verschieden schweren Übergewichten ausgeführt. Die Einstellungen ergaben:

Übergewicht in Gramm	Diff.	Stromstärke Amp.	Diff.
25 (normal)		0,25	
46	21	0,27	2
76	51	0,30	5
100	75	0,32	7

Einer Änderung der Stromstärke von 0,01 Amp. entspricht somit eine Änderung des Übergewichtes von 10 *g*. Die Ein-

1) 0,04 ist gebildet aus 0,06 = Zunahme des Zeitmesserstromes und 0,02 = Zunahme des Gewichtsstromes.

stellung der Stromstärke erfolgt daher, da sich schon Änderungen des Übergewichtes um wenige Gramm bei der Stromregulierung bemerkbar machen, auf hundertel Ampère genau.

Auf die praktischen Messungen haben daher Änderungen der Stromstärken, infolge von Neueinstellungen der Magnete, keinen Einfluss. Es erscheint jedoch angebracht, die Stromkreise stets mit geeigneten Ampèremetern zu versehen, damit erheblichere zufällige Änderungen der Stromstärken erkannt werden können. Das Auftreten derartiger Stromänderungen macht sich zwar auch an den Messungen selbst bemerkbar, das Ampèremeter bietet jedoch den Vorteil, dass die Ursache der Änderungen sogleich erkannt werden kann.

Die erhaltenen Resultate sind auch insofern von Interesse, als sie zeigen, dass sich mit dem neuen Flugzeitenmesser noch Messungsbeeinflussungen der Grössenordnung von 0,00001 Sekunden nachweisen lassen.

Aus den erhaltenen Gesamtresultaten geht schon hervor, dass die durch Unregelmässigkeiten der Apparat-Konstanten δ und ϑ (s. S. 11) veranlassten Fehler äusserst klein sind und bei richtig konstruierten und gut gearbeiteten Chronographen nicht in Betracht kommen.

Die Summe $\delta + \vartheta$ ist, wie aus der Lage der Disjunktionsmarken ohne weiteres folgt, in der Regel rund 0,150 Sekunden. Um einen Anhalt über das Grössenverhältnis von δ und ϑ zu bekommen, wurde eine Bestimmung des δ für den Flugzeitenmesser No. 228 in nachstehender Weise ausgeführt.

Der Teller des Auslösehebels, sowie die Messerfeder, erhielten je eine elektrische Kontaktvorrichtung.

Beim Auftreffen des Gewichtes auf den Teller wurde der erste und in dem Augenblick der Federauslösung der zweite Kontakt unterbrochen.

Diese Zeitdifferenz konnte mit Hilfe eines anderen Flugzeitenmessers bestimmt werden. Sie hängt von der Fallhöhe des Gewichtes ab, da mit wachsender Fallhöhe die Geschwindigkeit desselben im Augenblicke des Auftreffens auf den Teller grösser wird, die Auslösung erfolgt somit schneller und das δ wird kleiner ausfallen. Das erhaltene Resultat war:

Fallhöhe des Gewichtes	60 *cm*	160 *cm*
Gemessene Zeit	0,00180 s	0,00156 s

Die gebräuchliche Fallhöhe ist 110 *cm*, die zugehörige Zeit beträgt also etwa 0,0017 Sekunden.

Zu dieser Zeit tritt noch diejenige hinzu, welche verfliesst von dem Augenblick, in welchem die Federauslösung stattfindet, d. h. die Messerbewegung beginnt, bis zu dem Augenblick der Erzeugung der Marke auf der Zinkhülse.

Um diese Zeit bestimmen zu können, wurde eine Zinkhülse in der Höhenlage der Disjunktionsmarke, sowie an einer

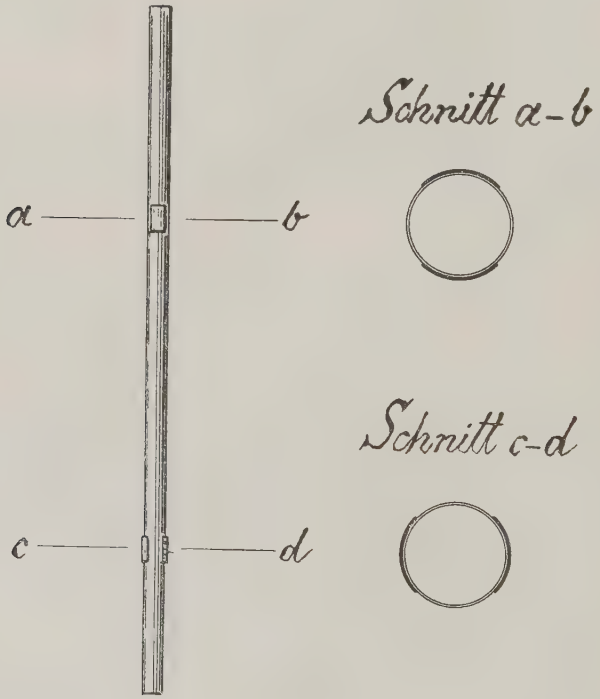


Fig. 7.

weiter oben gelegenen Stelle durch je zwei ca. 0,5 *mm* starke Blechstreifen in der aus Fig. 7 ersichtlichen Weise verstärkt. Die Hülsenoberfläche lag alsdann an den Verstärkungen um ca. 0,5 *mm* der Messerkante der gespannten Feder näher als zwischen den Verstärkungen. Hierauf wurden viermal fünf, rund um die Hülse verteilte Disjunktionsmarken, sowie in Höhe der oberen Verstärkung viermal fünf Marken mit dem Pendel nach Messungsart I erzeugt.

Das Resultat war:

	Disjunktionsmarke		Pendelmarke	
	normal	auf der Verstärkung	normal	auf der Verstärkung
	s 0,14966 68	s 0,14941 34	s 0,27478 74	s 0,27444 44
Mittel	s 0,14967	s 0,14937	s 0,27476	s 0,27444
Differenz.	s 1. 0,00030		s 2. 0,00032	

Die Vergrösserung des Hülsendurchmessers infolge der Verstärkungen betrug bei der Disjunktionsmarke 1,35 *mm* und bei der Pendelmarke 1,55 *mm*.

Das Messer legt somit den Weg von

$\frac{1{,}35}{2} = 0{,}67$ *mm* in 0,00030 Sekunden und von

$\frac{1{,}55}{2} = 0{,}77$ *mm* in 0,00032 „ zurück oder

1 *mm* in 0,0004 Sekunden

1 „ „ 0,0004 „

Mittel: 1 *mm* in 0,0004 Sekunden

Hieraus ergiebt sich, da der Abstand der Messerkante von der normalen Hülsenoberfläche bei gespannter Feder etwa 0,75 *mm* ist, die gesuchte Zeit zu rund 0,0003 Sekunden und es wird:

$$\delta = 0{,}0017 + 0{,}0003 = 0{,}002 \text{ Sekunden},$$

es verhält sich daher $\frac{\delta}{\vartheta} = \frac{1}{75}$.

Eine gleichartige Bestimmung der Messergeschwindigkeit führte für den Flugzeitenmesser No. 152 zu dem Resultate, dass das Messer zum Zurücklegen eines Weges von 1 *mm* rund 0,0015 Sekunden gebraucht.

Die Geschwindigkeit des Messers von No. 228 ist daher etwa viermal grösser als diejenige von No. 152. Abweichungen der Hülsenoberflächen von der cylindrischen Form werden

daher beim Apparat No. 228 von weit geringerem Einfluss sein als bei No. 152, dieselben müssen ausserdem schon relativ erhebliche Grössen erreichen, wenn sie sich bei den Messresultaten störend bemerkbar machen sollen.

Zur Beurteilung der Frage, ob die erörterten Fehlerquellen derartig sind, dass sie auf die direkten Messungen der Geschossgeschwindigkeiten einen merklichen Einfluss auszuüben im stande sind, muss vorerst gezeigt werden, inwieweit verschiedene Bestimmungen der Fluggeschwindigkeiten eines Geschosses untereinander übereinstimmen können.

Sind die Einflüsse der hierbei auftretenden Fehlerquellen, welche in den Eigenschaften des Pulvers, des Geschosses und Geschützrohres begründet sind, so gross, dass sie die Messungsfehler des Chronographen weit überschreiten, so ist eine Berücksichtigung der Apparatfehler überflüssig.

Die nachfolgend mitgeteilten Messungsresultate sollen über diesen Punkt Aufklärung geben.

Über die Ausführung derartiger Messungen ist noch zu bemerken, dass in der Regel gleichzeitig mit zwei le Boulengé-Apparaten und zwar nur nach Messungsart I gemessen wird.

Die mit beiden Apparaten erhaltenen Werte einer grösseren Anzahl von Messungen (zehn) werden dann in der aus den Tabellen ersichtlichen Weise gemittelt.

(Siehe Tabellen 16 u. 17.)

Die Bestimmungen von *a* und *b* unterscheiden sich dadurch voneinander, dass bei *a* die Stromunterbrechungen durch die von dem Geschoss erzeugte Luftverdichtung (Machsche Stirnwelle) mittelst der Wolffschen Luftstossanzeiger[1]) hervorgerufen wurden, während die Unterbrechungen bei *b* in der alten Art direkt durch das Geschoss (Durchschiessen zweier Drahtgitterrahmen) erfolgten. Aus den vorstehenden Tabellen geht hervor, dass die gemessenen mittleren Geschossgeschwindigkeiten bis auf Bruchteile eines Meters übereinstimmen können.

1) Siehe: W. Wolff, Luftstossanzeiger, Patentschrift No. 102 799 des Kaiserlichen Patentamtes.

Tabelle 16.

Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit eines Artilleriegeschosses, 50 *m* vor der Geschützmündung.

1.			2.			3.		
Flugzeitenmesser		Mittel	Flugzeitenmesser		Mittel	Flugzeitenmesser		Mittel
No. 146	No. 258		No. 146	No. 258		No. 146	No. 258	
Geschwindigkeiten in Meter-Sek.			Geschwindigkeiten in Meter-Sek.			Geschwindigkeiten in Meter-Sek.		
460,2	461,0	460,6	462,2	462,2	462,2	460,0	461,0	460,5
60,0	60,0	60,0	60,9	61,2	61,1	59,9	59,0	59,5
57,4	56,8	57,1	60,0	60,6	60,3	60,2	59,2	59,7
59,6	60,2	59,9	60,4	60,5	60,5	59,9	60,5	60,2
57,1	59,0	58,1	59,4	59,6	59,5	60,2	60,2	60,2
59,8	61,2	60,5	60,4	60,0	60,2	56,4	60,0	58,2
59,0	59,5	59,3	57,4	58,0	57,7	60,1	60,0	60,1
60,0	58,0	59,0	61,2	60,0	60,6	60,1	60,0	60,1
56,0	56,8	56,4	58,3	59,8	59,1	59,0	59,5	59,3
58,7	60,0	59,4	58,3	59,5	58,9	57,8	59,2	58,5
Gesamtmittel . . .		459,0	Gesamtmittel . . .		460,0	Gesamtmittel . . .		459,6
Fm . . .		0,45	Fm . . .		0,40	Fm . . .		0,24

Tabelle 17.

Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit eines Artilleriegeschosses 50 *m* vor der Geschützmündung für drei verschiedene Geschützrohre.

a) mit Luftstossanzeigern als Stromunterbrechern,
b) mit Gitterrahmen als Stromunterbrechern.

a. Geschützrohr 1. **b.**

Flugzeitenmesser No. 33	Flugzeitenmesser No. 28	Mittel	Flugzeitenmesser No. 77	Flugzeitenmesser No. 132	Mittel
Geschwindigkeiten in Meter-Sek.			Geschwindigkeiten in Meter-Sek.		
466,2	459,3	462,8	462,0	461,5	461,8
67,6	62,7	65,2	65,3	65,0	65,2
74,5	69,1	71,8	71,5	71,8	71,7
73,8	69,2	71,5	71,0	72,0	71,5
70,6	64,9	67,8	66,5	66,9	66,7
64,2	59,2	61,7	61,1	61,2	61,2
70,2	62,1	68,7	68,4	68,3	68,4
75,0	72,8	73,9	73,2	73,5	73,4
73,4	73,9	73,7	73,2	72,9	73,1
71,7	71,9	71,8	71,1	71,5	71,3
Gesamtmittel . . .		468,9	Gesamtmittel . . .		468,4
Fm . . .		1,40	Fm . . .		1,43
Geschützrohr 2.					
460,2	465,7	463,0	464,1	464,3	464,2
71,8	70,6	71,2	71,0	70,5	70,8
72,8	71,2	72,0	71,0	72,1	71,8
68,2	67,0	67,6	68,1	68,1	68,1
60,0	60,5	60,3	60,0	60,4	60,2
65,6	64,0	64,8	64,4	64,7	64,6
70,8	71,0	70,4	70,8	70,4	70,6
63,4	62,9	63,2	62,1	62,2	62,2
64,3	62,9	63,6	63,4	62,7	63,1
64,9	64,1	64,5	64,4	64,1	64,3
Gesamtmittel . . .		466,0	Gesamtmittel . . .		466,0
Fm . . .		1,26	Fm . . .		1,28

Geschützrohr 3.

a. Flugzeitenmesser No. 33	a. Flugzeitenmesser No. 28	a. Mittel	b. Flugzeitenmesser No. 77	b. Flugzeitenmesser No. 132	b. Mittel
Geschwindigkeiten in Meter-Sek.			Geschwindigkeiten in Meter-Sek.		
458,7	459,0	458,9	462,0	461,1	461,6
61,2	59,1	60,2	61,0	60,5	60,8
62,3	62,3	62,3	62,9	62,0	62,5
65,5	67,2	66,4	66,3	66,0	66,2
64,7	64,9	64,8	64,5	64,8	64,7
61,0	61,5	61,3	62,0	62,2	62,1
61,1	61,2	61,2	60,7	60,5	60,6
62,0	62,5	62,3	62,2	62,2	62,2
62,8	64,0	63,4	63,7	63,7	63,7
63,0	62,7	62,9	63,1	63,0	63,1
Gesamtmittel . . .		462,4	Gesamtmittel . . .		462,8
Fm . . .		0,69	Fm . . .		0,55

Bei der Geschwindigkeit von 460 bis 470 *m* in der Sekunde, entspricht nun einer Geschwindigkeitsänderung von 1 *m* eine räumliche Verschiebung der Messungsmarke von rund 0,5 *mm* oder eine zeitliche Verschiebung von rund 0,0002 Sekunden. Derartige Differenzen werden nun zwar durch den Flugzeitenmesser, wie gezeigt worden ist, noch sicher bestimmt, anderseits können aber auch selbst unter normalen Verhältnissen die Unterschiede beider Messungsarten I und II noch grössere Werte erreichen.

Da es daher bei den zur Zeit noch gebräuchlichen Flugzeitenmessern vorkommen kann, dass die mit verschiedenen Apparaten ermittelten Fluggeschwindigkeiten nicht zu vernachlässigende Differenzen untereinander aufweisen[1]), so kann eine Berücksichtigung der Fehlerquellen notwendig werden. Sobald es sich daher um möglichst genaue vergleichende Bestimmungen der Flugzeiten handelt, wie sie z. B. zur Feststellung der im Laufe der Zeit etwa eintretenden Änderungen der ballistischen

1) Die sogenannten verschiedenen „Höhenlagen" der Flugzeitenmesser.

Eigenschaften eines Pulvers erforderlich werden können, ist es notwendig, die Genauigkeit der Resultate dadurch zu prüfen, dass in Höhe der Markenlage der zu messenden Geschwindigkeit einige Kontrollmessungen mit dem Pendelunterbrecher nach beiden Messungsarten ausgeführt werden. Ergiebt sich hierbei eine in Betracht kommende konstante Differenz zwischen den Messungsarten, so ist, da die Einwirkungsart der ε und ϱ nicht näher bekannt ist, das Mittel beider Messungen als wahrscheinlichster Wert anzunehmen (s. Formel III, S. 12).

Aus der Differenz zwischen Messungsart I und diesem Mittelwert ergiebt sich alsdann die an den Flugzeitenmessungen anzubringende Korrektion.

Ist z. B. die Differenz Messungsart I – Messungsart II = – 0,0006 Sekunden[1]), so ist Messungsart I – Mittelwert $\frac{\text{I} + \text{II}}{2} =$ – 0,0003 Sekunden.
und die fragliche Korrektion ist in der Gegend von etwa 470 *m* Fluggeschwindigkeit gleich + 1,5 *m*. Für die gewöhnlichen Flugzeitenbestimmungen brauchen aber, besonders bei Infanteriegeschossen, derartige Fehlerquellen nicht berücksichtigt zu werden.

Was die Verwendung des Flugzeitenmessers zu physikalischen Untersuchungen anbelangt, so sei hier nur auf die beim Militärversuchsamt ständig benutzte Methode zur Bestimmung der Umlaufsgeschwindigkeiten von Registriertrommeln hingewiesen.

Ein kleiner Smithscher Registrier-Elektromagnet von etwa 1 *mm* Kerndurchmesser und 10 *mm* Länge der Kerne (s. Der Elektromagnet von S. P. Thompson. Übersetzt von C. Grawinkel, Halle 1894. S. 209) wird mit dem erwähnten Pendelapparat derart zu einem Stromkreise verbunden, dass der Strom sowohl durch die Schenkel des Elektromagneten, als auch durch die hintereinander geschalteten beiden Kontakte des Pendelunterbrechers (oder eines anderen gleichmässigen Stromunterbrechers) geht. Der Kontakt, welcher von dem schwingenden Pendel zuerst unterbrochen wird, ist nun so eingerichtet, dass der Strom sich sofort nach der Unterbrechung wieder selbstthätig schliesst. Bei

1) Diese Differenz kann bei den älteren Flugzeitenmessern erheblich grösser werden.

Auslösung des Pendels giebt alsdann der Elektromagnet drei Zeichen und zwar:

1. Bei der ersten Stromunterbrechung,
2. bei der hierauf erfolgenden Stromschliessung,
3. bei der zweiten Stromunterbrechung.

Die Zeichen 1 und 3 sind somit unter gleichen Bedingungen (bei der Stromöffnung) erzeugt. Das Zeichen 1 unterscheidet sich jedoch dadurch von 3, dass sich direkt hinter ihm das Stromschlusszeichen befindet. Die zwischen den beiden Stromunterbrechungen liegende Zeit kann aber mit dem le Boulengé-Chronographen sehr leicht und schnell mit grosser Genauigkeit bestimmt werden, so dass, sobald noch der Abstand der Zeichen 1 und 3 voneinander gemessen ist, alle Bedingungen zur Bestimmung der Umlaufszeit aus den auf der berussten Trommel erzeugten Zeichen gegeben sind.

Der grosse Vorteil dieser Methode liegt in der Leichtigkeit und Schnelligkeit, mit welcher die registrierte Zeitdifferenz durch den Flugzeitenmesser bestimmt werden kann.

Die Zeitdifferenz kann ausserdem durch Verstellen der Pendelkontakte leicht verändert und somit in ziemlich weiten Grenzen den augenblicklichen Bedürfnissen angepasst werden.

Die Auslösung des Pendels erfolgt auf elektrischem Wege derart, dass die Entstehung der Zeitmarken mit dem auf der Trommel zu registrierenden Versuch zeitlich möglichst zusammenfällt. Der Smithsche Elektromagnet ist sehr leicht und nimmt nur sehr wenig Raum ein, so dass er auch bei beschränkten Raumverhältnissen, welche die Verwendung der verhältnismässig grossen und schweren Stimmgabel-Registriervorrichtungen unmöglich machen, mit Vorteil benutzt werden kann.

Hierzu kommt noch als wesentlicher Punkt, dass wie W. Wolff in der schon citierten Abhandlung (s. S. 26) gezeigt hat, die Zeitbestimmungen mit dem le Boulengé-Chronographen denjenigen eines Stimmgabel-Chronographen an Genauigkeit überlegen sind. Wolff erhielt mit einem, nach dem Muster der Physikalisch-technischen Reichsanstalt gebauten, Heeleschen Stimmgabel-Chronographen für ein bestimmtes Zeitintervall des Pendelunterbrechers eine Wellenzahl der Stimmgabel von 73,5403 = 0,169058 Sekunden (aus 100 Messungen). Die Wellenzahl ist hierbei mit einem wahrscheinlichen Fehler von ± 0,0068 behaftet.

Die Bestimmung desselben Zeitintervalles mit dem le Boulengé- und dem Stimmgabel-Chronographen gab als Mittel aus je 10 Messungen die Werte:

		Mittlere Abweichung
	s	s
le Boulengé-Chronograph	0,16922	0,00007
	s	s
Stimmgabel-Chronograph	0,16889	0,00022

Die oben beschriebene Methode der Zeitregistrierung hat sich sowohl im Laboratorium, als auch auf dem Schiessplatze, wo dergleichen Messungen oft unter besonders ungünstigen Bedingungen ausgeführt werden müssen, sehr bewährt.

Schlussbetrachtung.

Von den zur Bestimmung der Fluggeschwindigkeit von Geschossen dienenden Chronographen muss bei dem heutigen Stande der Ballistik verlangt werden können, dass sie unter Umständen bis auf ein Meter, eventl. sogar bis auf Bruchteile desselben sichere Messungen zu geben im stande sind. Diese Forderung bedingt für die hierbei in Betracht kommenden Geschossgeschwindigkeiten eine bis auf etwa 0,0001 Sekunden genaue Zeitbestimmung.

Die mittleren Fehler einer Messung waren bei den vorstehend angeführten Versuchen im Mittel:

	Disjunktions-marke	Messungs-art I	Messungs-art II
	s	s	s
beim Flugzeitenmesser No. 152 . . .	0,00003	0,00009	0,00010
	s	s	s
beim Flugzeitenmesser No. 228 . . .	0,00003	0,00006	0,00006

Die Differenzen zwischen Messungsart I und II betrugen in 10^{-4} Sekunden (s. S. 46):

	s 0,0008	s 0,035	s 0,073	s 0,105
Flugzeitenmesser No. 152	0	+1	+1	+2,5
	+1	+1,5	−0,5	0

	s 0,0006	s 0,035	s 0,073	s 0,105
Flugzeitenmesser No. 228	0	0	−2	−4
	0	0	−1,5	−3,5

Bei No. 228 kann hiernach die Differenz beider Messungsarten für eine bestimmte zu messende Zeit als eine Konstante betrachtet werden, während bei No. 152 keine derartige Regelmässigkeit nachzuweisen ist. (Unter einander identische Bestimmungen schwanken bei No. 152 um 0,00025 Sekunden, bei No. 228 jedoch nur um 0,00005 Sekunden.)

Aus diesen Angaben folgt, dass der Chronograph No. 228 der an die Genauigkeit gestellten strengen Forderung genügt, wobei allerdings unter Umständen bestimmte Korrektionen anzubringen wären.

Der Chronograph No. 152 würde aber dieser Anforderung schon nicht mehr genügen, obgleich er ein sehr gut messender Apparat der bisherigen Konstruktion ist; andere gleichartige Apparate weisen ganz erheblich grösssere Abweichungen zwischen beiden Messungsarten auf. Der Grund dieser Abweichungen liegt darin, dass keiner der bisherigen Chronographen die auf Seite 13 aufgestellten Konstruktionsbedingungen auch nur annähernd erfüllt. No. 228 entspricht dagegen, nach erfolgter Änderung des Gewichtsankers, diesen Bedingungen in den wesentlichsten Punkten. Die bei diesem Apparat noch vorhandenen, von der zu messenden Zeit abhängigen Differenzen beider Messungsarten, welche auf die ungleichartige Stellung der Elektromagnete zurückzuführen sind, würden sich aber durch

die vorgeschlagene Magnetanordnung (s. S. 20) auch noch beseitigen lassen.

Der le Boulengé-Chronograph ist somit, bei richtiger Konstruktion, im stande, auch den strengsten Anforderungen der Ballistik vollkommen Genüge zu leisten.

Die jetzt allgemein gebräuchlichen Apparate genügen infolge ihrer unrichtigen Konstruktion auch den von der Praxis gestellten geringeren Anforderungen an die Genauigkeit nicht immer, wie schon aus den bisweilen mehrere Meter betragenden Unterschieden ihrer Höhenlagen hervorgeht.

Die ausgeführten Untersuchungen beweisen die grosse Genauigkeit der mit dem Apparat von le Boulengé zu erzielenden Zeitmessungen und somit auch seine Verwendbarkeit für wissenschaftliche Zwecke, sobald es sich um die Messung kleiner Zeitintervalle handelt.

Herrn Prof. Dr. W. Wolff, dem ich die Anregung zu der vorliegenden Arbeit verdanke, statte ich für die mir bei Ausfährung derselben erteilten wertvollen Ratschläge auch an dieser Stelle meinen Dank ab.

Ferner bin ich Herrn Dr. A. Ebeling, welcher die Bestimmung der Induktionskoefficienten veranlasst hat, zu Dank verpflichtet.

Flugzeitenmesser Nr. 152.

Gemessene Zeit: 0,0008 Sekunden.
Gewichtsstrom: 0,14 Amp.
Zeitmesserstrom: 0,41 Amp.

Tabelle 1.
(S. a. Tafel 1.)

Einschaltung der Spulen in den Gewichtsstromkreis.

1	2		3	4		5	6		7	8	9	10
Eingeschaltete Spulen	Messungsart I	Fm	Diff.	Disjunkt.-Marke	Fm	Diff.	Messungsart II	Fm	Diff.	Zeit I	Zeit II	Zeit I − Zeit II
	s			s			s			s	s	s
Keine	0,15111	7		0,15031	2		0,14951	5		0,00080	0,00080	0,00000
A ohne Kern .	0,15100	4	− 11	0,15026	2	− 5	0,14947	3	− 4	0,00074	0,00079	− 0,00005
A mit Kern . .	0,15102	3	− 9	0,15020	3	− 11	0,14952	6	+ 1	0,00082	0,00068	+ 0,00014
B ohne Kern .	0,15096	5	− 15	0,15020	1	− 11	0,14946	4	− 5	0,00076	0,00074	+ 0,00002
B mit Kern . .	0,15116	5	+ 5	0,15040	2	+ 9	0,14963	6	+ 12	0,00076	0,00077	− 0,00001

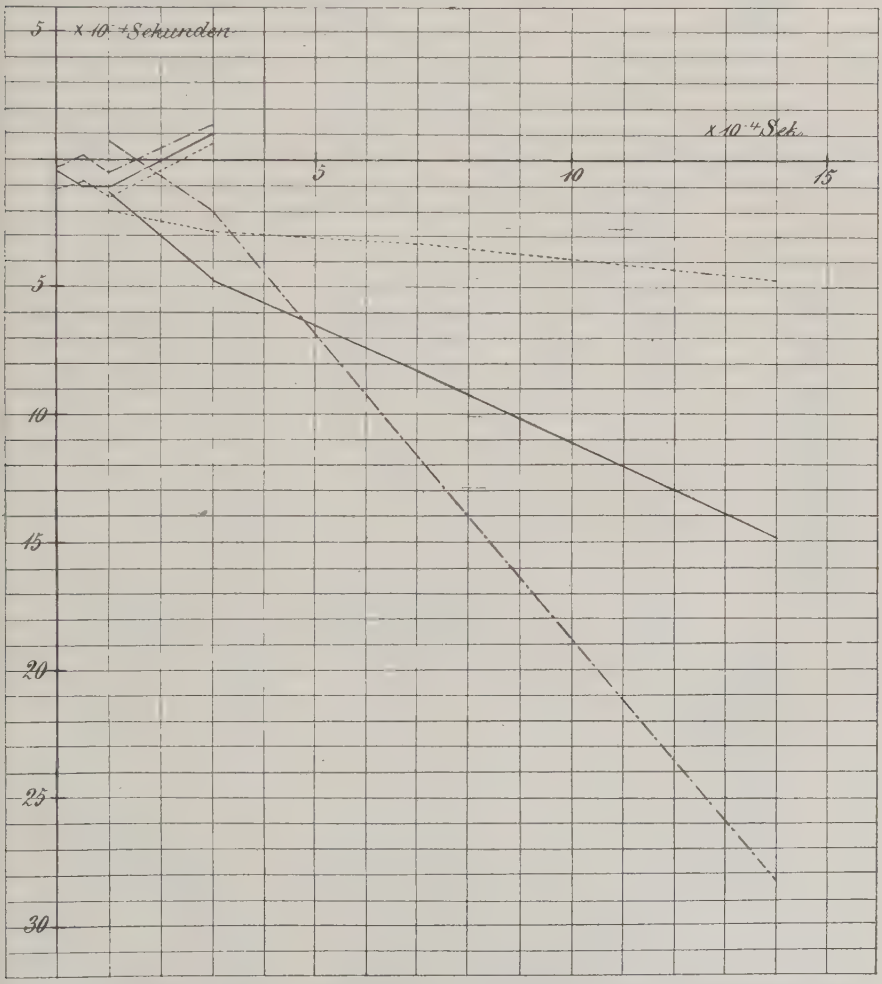
Einschaltung der Spulen in den Zeitmesserstromkreis.

	s			s			s			s	s	s
Keine	0,15100	5		0,15017	2		0,14942	2		0,00083	0,00075	+ 0,00008
A ohne Kern .	0,15080	8	− 20	0,15003	2	− 14	0,14948	4	+ 6	0,00077	0,00055	+ 0,00022
A mit Kern . .	0,15072	7	− 28	0,14970	2	− 47	0,14922	5	− 20	0,00102	0,00048	+ 0,00054
B ohne Kern .	0,15067	3	− 33	0,14935	1	− 82	0,14824	9	− 118	0,00132	0,00111	+ 0,00021
B mit Kern . .	0,15053	15	− 47	0,14870	3	− 147	0,14660	15	− 282	0,00183	0,00210	− 0,00027

Flugzeitenmesser No. 152.

Tafel 1.
(zu Tabelle 1, Spalten 3, 5 und 7)

Gemessene Zeit : $0,^{s}0008$
Gewichtsstrom : 0,14 Amp.
Zeitmesserstrom : 0,41 Amp.



Abscissen: Aenderungen der E. Ordinaten: Aenderungen der Markenlagen:
——— Disjunctionsmarke, ····· Messungart I, – – – Messungart II.

Flugzeitenmesser Nr. 152.

Gemessene Zeit: 0,035 Sekunden.
Gewichtsstrom: 0,14 Amp.
Zeitmesserstrom: 0,41 Amp.

Tabelle 2.
(S. a. Tafel 2.)

Einschaltung der Spulen in den Gewichtsstromkreis.

1	2		3	4		5	6		7	8	9	10
Eingeschaltete Spulen	Messungsart I	Fm	Diff.	Disjunkt.-Marke	Fm	Diff.	Messungsart II	Fm	Diff.	Zeit I	Zeit II	Zeit I − Zeit II
	s			s			s			s	s	s
Keine	0,18555	2		0,15014	1		0,11484	3		0,03541	0,03530	+ 0,00011
A ohne Kern .	0,18562	4	+ 7	0,15020	1	+ 6	0,11485	3	+ 1	0,03542	0,03535	+ 0,00007
A mit Kern . .	0,18567	3	+ 12	0,15023	2	+ 9	0,11486	1	+ 2	0,03544	0,03537	+ 0,00007
B ohne Kern .	0,18574	4	+ 19	0,15035	2	+ 21	0,11492	3	+ 8	0,03539	0,03543	− 0,00004
B mit Kern . .	0,18589	4	+ 34	0,15054	1	+ 40	0,11503	2	+ 19	0,03535	0,03551	− 0,00016

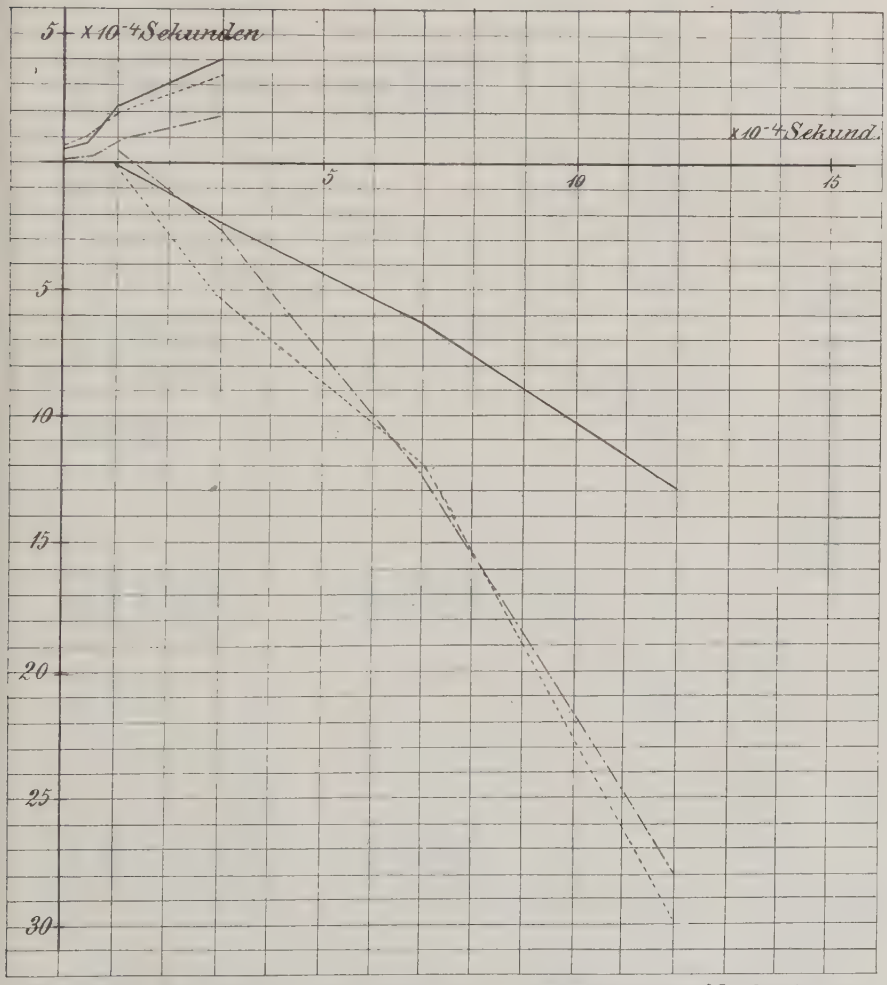
Einschaltung der Spulen in den Zeitmesserstromkreis.

	s			s			s			s	s	s
Keine	0,18554	2		0,15011	1		0,11484	4		0,03543	0,03527	+ 0,00016
A ohne Kern .	0,18554	5	0	0,15011	2	0	0,11489	2	+ 5	0,03543	0,03522	+ 0,00021
A mit Kern . .	0,18502	8	− 52	0,14988	1	− 23	0,11460	8	− 24	0,03514	0,03528	0,00014
B ohne Kern .	0,18436	18	− 118	0,14949	3	− 62	0,11362	8	− 122	0,03487	0,03587	− 0,00100
B mit Kern . .	0,18254	3	− 300	0,14883	2	− 128	0,11206	7	− 278	0,03371	0,03677	− 0,00306

Flugzeitenmesser No. 152.

Tafel 2.
(zu Tabelle 2, Spalten 3, 5 und 7)

Gemessene Zeit : 0,035
Gewichtsstrom : 0,14 Amp.
Zeitmesserstrom : 0,41 Amp.



Abscissen: Aenderungen d. E. Ordinaten: Aenderungen der Markenlagen.
—— Disjunctionsmarke, ----- Messungart I, — · — Messungart II.

Flugzeitenmesser No. 152.

Gemessene Zeit: 0,073 Sekunden.
Gewichtsstrom: 0,14 Amp.
Zeitmesserstrom: 0,41 Amp.

Tabelle 3.
(S. a. Tafel 3.)

Einschaltung der Spulen in den Gewichtsstromkreis.

1	2		3	4		5	6		7	8	9	10
Eingeschaltete Spulen	Messungsart I	Fm	Diff.	Disjunkt.-Marke	Fm	Diff.	Messungsart II	Fm	Diff.	Zeit I	Zeit II	Zeit I - Zeit II
	s			s			s			s	s	s
Keine	0,22287	3		0,14949	1		0,07621	2		0,07338	0,07328	+ 0,00010
A ohne Kern .	0,22263	3	4	0,14948	1	− 1	0,07615	3	− 6	0,07335	0,07333	+ 0,00002
A mit Kern . .	0,22278	2	− 9	0,14951	2	+ 2	0,07614	3	7	0,07327	0,07337	- 0,00010
B ohne Kern .	0,22296	3	+ 9	0,14955	2	+ 6	0,07618	2	- 3	0,07341	0,07337	+ 0,00004
B mit Kern . .	0,22300	2	+ 13	0,14969	1	+ 20	0,07632	2	+ 11	0,07331	0,07337	− 0,00006

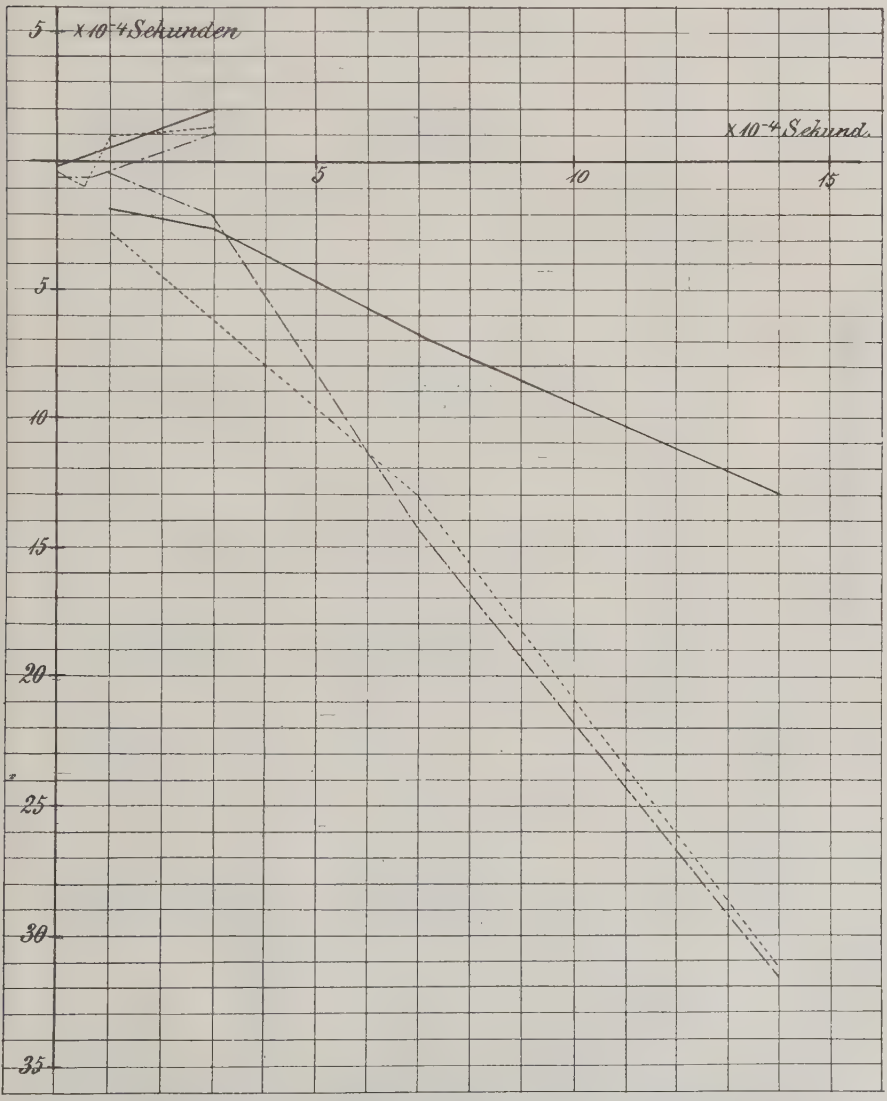
Einschaltung der Spulen in den Zeitmesserstromkreis.

	s			s			s			s	s	s
Keine	0,22290	2		0,14957	1		0,07617	3		0,07333	0,07340	− 0,00007
A ohne Kern .	0,22263	6	− 27	0,14940	1	− 17	0,07614	5	− 3	0,07323	0,07326	- 0,00003
A mit Kern . .	0,22230	5	− 60	0,14932	2	− 25	0,07597	8	- 20	0,07298	0,07335	− 0,00037
B ohne Kern .	0,22160	3	− 130	0,14891	2	− 66	0,07476	7	− 141	0,07269	0,07415	− 0,00146
B mit Kern . .	0,21977	4	− 313	0,14829	1	− 128	0,07301	6	− 316	0,07148	0,07528	− 0,00380

Flugzeitenmesser № 152.

Tafel 3.
(zu Tabelle 3, Spalten 3, 5 und 7)

Gemessene Zeit : $0^s,073$
Gewichtsstrom : 0,14 Amp.
Zeitmesserstrom : 0,41 Amp.



Abscissen: Aenderungen d. E. Ordinaten: Aenderungen der Markenlagen.
——Disjunctionsmarke, - - - Messungart I, — + — Messungart II.

Flugzeitenmesser No. 152.

Gemessene Zeit: 0,105 Sekunden
Gewichtsstrom: 0,14 Amp.
Zeitmesserstrom: 0,41 Amp.

Tabelle 4.
(S. a. Tafel 4.)

Einschaltung der Spulen in den Gewichtsstromkreis.

1	2		3	4		5	6		7	8	9	10
Eingeschaltete Spulen	Messungsart I	Fm	Diff.	Disjunkt.-Marke	Fm	Diff.	Messungsart II	Fm	Diff.	Zeit I	Zeit II	Zeit I − Zeit II
	s			s			s			s	s	s
Keine	0,25538	2		0,15004	1		0,04495	6		0,10534	0,10509	+ 0,00025
A ohne Kern .	0,25541	3	+ 3	0,15012	2	+ 8	0,04497	5	+ 2	0,10539	0,10515	+ 0,00024
A mit Kern . .	0,25557	2	+ 19	0,15026	2	+ 22	0,04492	5	− 3	0,10531	0,10534	− 0,00003
B ohne Kern .	0,25558	2	+ 20	0,15034	2	+ 30	0,04490	7	− 5	0,10524	0,10544	− 0,00020
B mit Kern . .	0,25570	4	+ 32	0,15047	2	+ 43	0,04495	6	0	0,10523	0,10552	− 0,00029

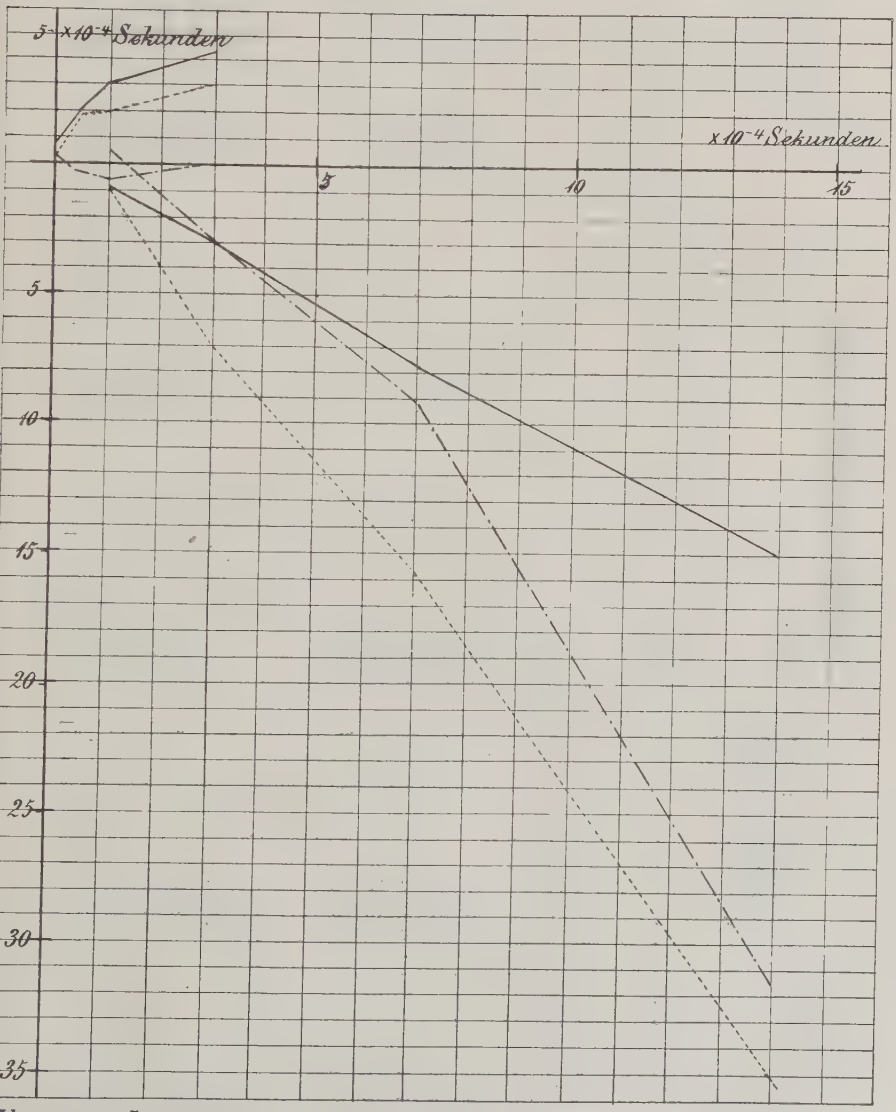
Einschaltung der Spulen in den Zeitmesserstromkreis.

	s			s			s			s	s	s
Keine	0,25538	5		0,15011	1		0,04486	10		0,10527	0,10525	+ 0,00002
A ohne Kern .	0,25529	10	− 9	0,15003	1	− 8	0,04492	7	+ 6	0,10526	0,10511	+ 0,00015
A mit Kern . .	0,25469	14	− 69	0,14982	1	− 29	0,04456	12	− 30	0,10487	0,10526	− 0,00039
B ohne Kern .	0,25382	9	− 156	0,14935	1	− 76	0,04394	8	− 92	0,10447	0,10541	− 0,00094
B mit Kern . .	0,25189	9	− 349	0,14860	1	− 151	0,04173	6	− 313	0,10329	0,10687	− 0,00358

Flugzeitenmesser No. 152. Tafel 4.

(zu Tabelle 4, Spalten 3, 5 und 7)

Gemessene Zeit: 0,s105
Gewichtsstrom: 0,14 Amp.
Zeitmesserstrom: 0,41 Amp.



Abscissen: Aenderungen der E. Ordinaten: Aenderungen d. Markenlagen.
— Disjunctionsmarke, ····· Messungart I, – · – Messungart II.

Flugzeitenmesser No. 228.

Gemessene Zeit: 0,073 Sekunden.
Gewichtsstrom: 0,35 Amp.
Zeitmesserstrom: 0,25 Amp.

Tabelle 5.
(S. a. Tafel 5.)

Einschaltung der Spulen in den Gewichtsstromkreis.

1	2		3	4		5	6		7	8	9	10
Eingeschaltete Spulen	Messungsart I	Fm	Diff.	Disjunkt.-Marke	Fm	Diff.	Messungsart II	Fm	Diff.	Zeit I	Zeit II	Zeit I − Zeit II
	s			s			s			s	s	s
Keine	0,22311	2		0,14977	2		0,07622	4		0,07334	0,07355	- 0,00021
A ohne Kern .	0,22314	2	+ 3	0,14981	2	+ 4	0,07621	3	− 1	0,07333	0,07360	− 0,00027
A mit Kern . .	0,22326	2	+ 15	0,14992	1	+ 15	0,07626	3	+ 4	0,07334	0,07366	− 0,00032
B ohne Kern .	0,22340	4	+ 29	0,15020	2	+ 43	0,07649	3	+ 27	0,07320	0,07371	− 0,00049
B mit Kern . .	0,22442	21	+ 131	0,15095	2	+ 118	0,07826	12	+ 204	0,07347	0,07269	− 0,00078

Einschaltung der Spulen in den Zeitmesserstromkreis.

	s			s			s			s	s	s
Keine	0,22303	2		0,14974	1		0,07616	4		0,07329	0,07358	- 0,00029
A ohne Kern .	0,22312	2	+ 9	0,14979	2	+ 5	0,07622	2	+ 6	0,07333	0,07357	− 0,00024
A mit Kern . .	0,22319	2	+ 16	0,14983	1	+ 9	0,07633	4	+ 17	0,07336	0,07350	− 0,00014
B ohne Kern .	0,22296	3	− 7	0,14958	1	− 16	0,07621	4	+ 5	0,07338	0,07337	+ 0,00001
B mit Kern . .	0,22258	2	− 45	0,14908	2	− 66	0,07580	2	− 36	0,07350	0,07328	+ 0,00022

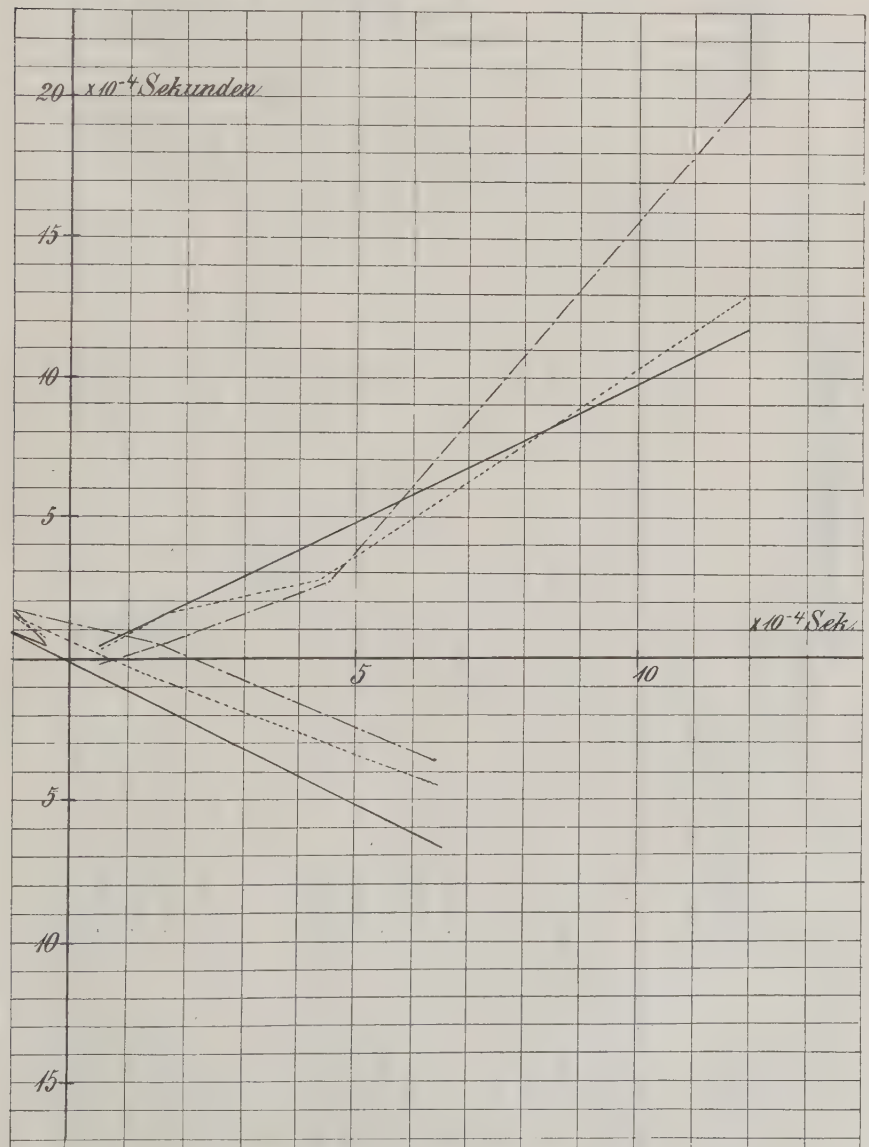
Flugzeitenmesser No. 228. Tafel 5.

(zu Tabelle 5, Spalten 3, 5 und 7)

Gemessene Zeit : $0^s,073$

Gewichtsstrom : 0,35 Amp.

Zeitmesserstrom: 0,25 Amp.



Abscissen: Aenderungen der E. Ordinaten: Aenderung. d. Marken-lagen.

—Disjunctionsmarke ----Messungart I. – – Messungart II.

Flugzeitenmesser No. 228.

Gewichts-Elektromagnet 50 *mm* über Normalstellung.

Gemessene Zeit: 0,073 Sekunden.
Gewichtsstrom: 0,35 Amp.
Zeitmesserstrom: 0,25 Amp.

Tabelle 6.

(S. a. Tafel 6.)

Einschaltung der Spulen in den Gewichtsstromkreis.

1	2		3	4		5	6		7	8	9	10
Eingeschaltete Spulen	Messungsart I	Fm	Diff.	Disjunkt.-Marke	Fm	Diff.	Messungsart II	Fm	Diff.	Zeit I	Zeit II	Zeit I − Zeit II
	s			s			s			s	s	s
Keine	0,25413	2		0,18089	1		0,10763	3		0,07324	0,07326	− 0,00002
A ohne Kern .	0,25416	2	+ 3	0,18090	1	+ 1	0,10761	3	− 2	0,07326	0,07329	− 0,00003
A mit Kern . .	0,25426	3	+ 13	0,18099	1	+ 10	0,10769	2	+ 6	0,07327	0,07330	− 0,00003
B ohne Kern .	0,25455	6	+ 42	0,18134	2	+ 45	0,10802	4	+ 39	0,07321	0,07332	− 0,00011
B mit Kern . .	0,25623	9	+ 210	0,18198	1	+ 109	0,10980	13	+ 217	0,07325	0,07318	+ 0,00007

Einschaltung der Spulen in den Zeitmesserstromkreis.

	s			s			s			s	s	s
Keine	0,25418	2		0,18093	2		0,10766	2		0,07325	0,07327	− 0,00002
A ohne Kern .	0,25408	2	− 10	0,18084	1	− 9	0,10757	3	− 9	0,07324	0,07327	− 0,00003
A mit Kern . .	0,25402	3	− 16	0,18079	2	− 14	0,10750	3	− 16	0,07323	0,07329	− 0,00006
B ohne Kern .	0,25392	2	− 26	0,18062	1	− 31	0,10736	3	− 30	0,07330	0,07326	+ 0,00004
B mit Kern . .	0,25269	9	− 149	0,18020	2	− 73	0,10668	13	− 98	0,07249	0,07352	− 0,00103

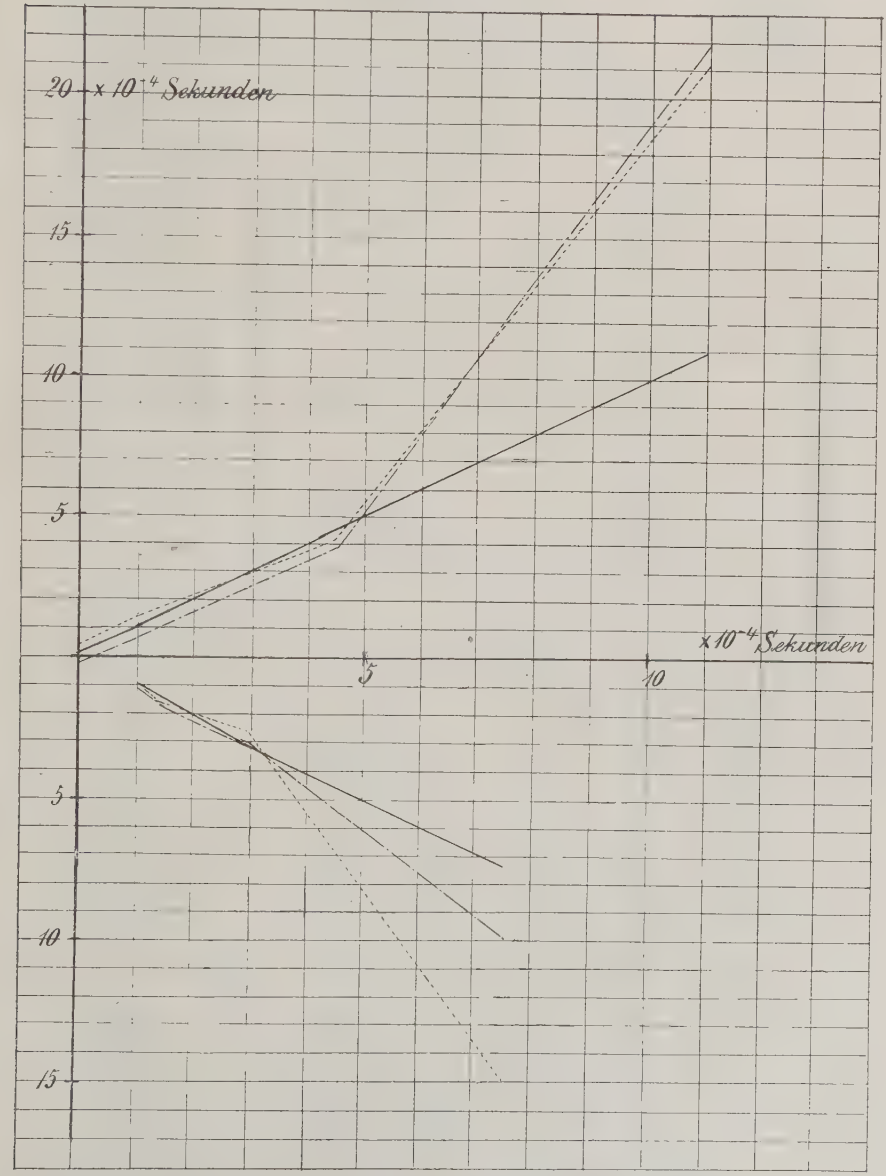
Flugzeitenmesser No. 228. Tafel 6.

(zu Tabelle 6, Spalten 3, 5 und 7)

Gemessene Zeit : $0,^{s}073$.

Gewichtsstrom : 0,35 Amp.

Zeitmesserstrom : 0,25 Amp.



Abscissen: Aenderungen d. E. Ordinaten: Aenderung d. Markenlagen.

—— Disjunctionsmarke; ----- Messungart I; -·-·- Messung art II.

Flugzeitenmesser No. 228.

Gemessene Zeit: 0,0006 Sekunden.
Gewichtsstrom: 0,28 Amp.
Zeitmesserstrom: 0,25 Amp.

Tabelle 7.
(S. a. Tafel 7.)

Einschaltung der Spulen in den Gewichtsstromkreis.

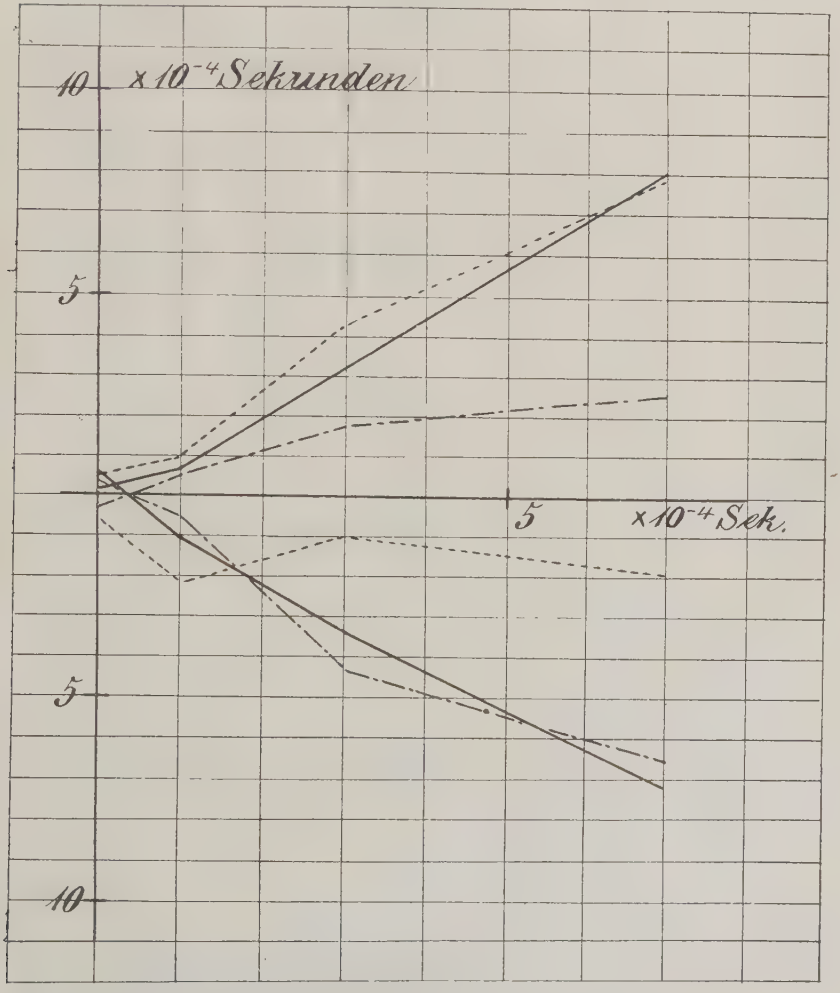
1	2		3	4		5	6		7	8	9	10
Eingeschaltete Spulen	Messungsart I	Fm	Diff.	Disjunkt.-Marke	Fm	Diff.	Messungsart II	Fm	Diff.	Zeit I	Zeit II	Zeit I − Zeit II
	s			s			s			s	s	s
Keine	0,15101	6		0,15040	1		0,14980	3		0,00061	0,00060	+ 0,00001
A ohne Kern .	0,15105	7	+ 4	0,15041	1	+ 1	0,14977	6	− 3	0,00064	0,00064	0,00000
A mit Kern . .	0,15110	5	+ 9	0,15047	2	+ 7	0,14986	5	+ 6	0,00063	0,00061	+ 0,00002
B ohne Kern .	0,15143	5	+ 42	0,15071	1	+ 31	0,14997	4	+ 17	0,00072	0,00074	− 0,00002
B mit Kern . .	0,15180	3	+ 79	0,15121	2	+ 81	0,15004	6	+ 24	0,00059	0,00117	− 0,00058

Einschaltung der Spulen in den Zeitmesserstromkreis.

	s			s			s			s	s	s
Keine	0,15094	6		0,15033	1		0,14973	3		0,00061	0,00062	− 0,00001
A ohne Kern .	0,15089	5	− 5	0,15038	3	+ 5	0,14976	7	+ 3	0,00051	0,00062	− 0,00011
A mit Kern . .	0,15072	4	− 22	0,15022	3	− 11	0,14967	7	− 6	0,00050	0,00055	− 0,00005
B ohne Kern .	0,15083	3	− 11	0,14998	2	− 35	0,14930	3	− 43	0,00085	0,00068	+ 0,00017
B mit Kern . .	0,15074	5	− 20	0,14960	1	− 73	0,14906	3	− 67	0,00114	0,00054	+ 0,00060

Tafel 7. (zu Tabelle 7, Spalten 3, 5 und 7)
Flugzeitenmesser No. 228.

Gemessene Zeit: $0,^{s}0006$
Gewichtsstrom: 0,28 Amp.
Zeitmesserstrom: 0,25 Amp.



Abscissen: Aenderungen der E.
Ordinaten: Aenderungen der Markenlagen.
——Disjunctionsmarke ····Messungart I. – –Messungart II.

Flugzeitenmesser No. 228.

Gemessene Zeit: 0,035 Sekunden.
Gewichtsstrom: 0,28 Amp.
Zeitmesserstrom: 0,25 Amp.

Tabelle 8.

(S. a. Tafel 8.)

Einschaltung der Spulen in den Gewichtsstromkreis.

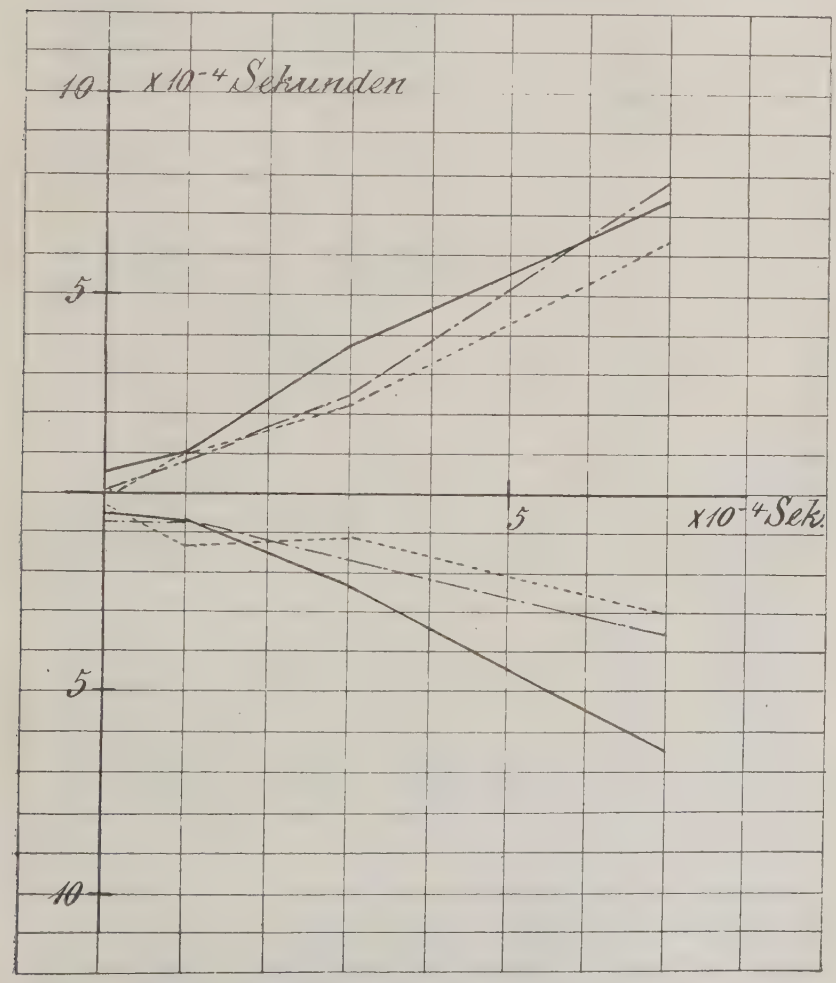
1	2		3	4		5	6		7	8	9	10
Eingeschaltete Spulen	Messungsart I	Fm	Diff.	Disjunkt.-Marke	Fm	Diff.	Messungsart II	Fm	Diff.	Zeit I	Zeit II	Zeit I − Zeit II
	s			s			s			s	s	s
Keine	0,18565	1		0,15034	1		0,11504	3		0,03531	0,03530	+ 0,00001
A ohne Kern .	0,18564	2	− 1	0,15040	1	+ 6	0,11504	2	0	0,03524	0,03536	− 0,00012
A mit Kern . .	0,18575	3	+ 10	0,15044	1	+ 10	0,11513	3	+ 9	0,03531	0,03531	0,00000
B ohne Kern .	0,18587	2	+ 22	0,15071	2	+ 37	0,11529	2	+ 25	0,03516	0,03542	− 0,00026
B mit Kern . .	0,18629	1	+ 64	0,15108	2	+ 74	0,11583	3	+ 79	0,03521	0,03525	− 0,00004

Einschaltung der Spulen in den Zeitmesserstromkreis.

	s			s			s			s	s	s
Keine	0,18566	4		0,15035	1		0,11503	2		0,03531	0,03532	− 0,00001
A ohne Kern .	0,18563	1	− 3	0,15030	2	− 5	0,11496	2	− 7	0,03533	0,03534	− 0,00001
A mit Kern . .	0,18554	1	− 12	0,15028	1	− 7	0,11496	2	− 7	0,03526	0,03532	− 0,00006
B ohne Kern .	0,18555	2	− 11	0,15013	1	− 22	0,11486	7	− 17	0,03542	0,03527	+ 0,00015
B mit Kern . .	0,18537	2	− 29	0,14971	1	− 61	0,11469	1	− 34	0,03566	0,03502	+ 0,00064

Tafel 8. (zu Tabelle 8, Spalten 3, 5 und 7)
Flugzeitenmesser № 228.

Gemessene Zeit : $0,^{s}035$
Gewichtsstrom : 0,28 Amp.
Zeitmesserstrom : 0,25 Amp.



Abscissen: Aenderungen der ε.
Ordinaten: Aenderungen der Markenlagen.
—Disjunctionsmarke; ---Messungart I; –·–Messungart II.

Flugzeitenmesser No. 228.

Gemessene Zeit: 0,073 Sekunden.
Gewichtsstrom: 0,28 Amp.
Zeitmesserstrom: 0,25 Amp.

Tabelle 9.
(S. a. Tafel 9.)

Einschaltung der Spulen in den Gewichtsstromkreis.

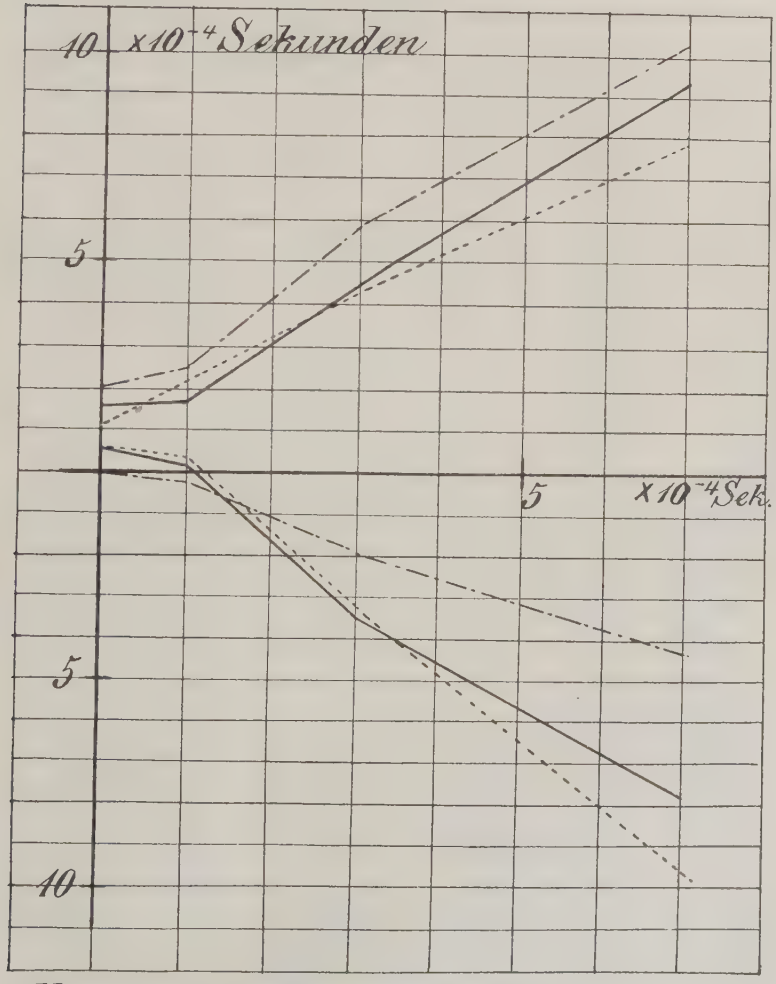
1	2		3	4		5	6		7	8	9	10
Eingeschaltete Spulen	Messungsart I	Fm	Diff.	Disjunkt.-Marke	Fm	Diff.	Messungsart II	Fm	Diff.	Zeit I	Zeit II	Zeit I — Zeit II
	s			s			s			s	s	s
Keine	0,22354	2		0,15024	1		0,07672	4		0,07330	0,07352	— 0,00022
A ohne Kern .	0,22364	4	+ 10	0,15038	1	+ 14	0,07691	3	+ 19	0,07326	0,07347	— 0,00021
A mit Kern . .	0,22374	2	+ 20	0,15041	1	+ 17	0,07696	4	+ 24	0,07333	0,07345	— 0,00012
B ohne Kern .	0,22396	2	+ 42	0,15067	2	+ 43	0,07729	10	+ 57	0,07329	0,07338	— 0,00009
B mit Kern . .	0,22433	3	+ 79	0,15117	2	+ 93	0,07774	18	+ 102	0,07316	0,07343	— 0,00027

Einschaltung der Spulen in den Zeitmesserstromkreis.

	s			s			s			s	s	s
Keine	0,22368	2		0,15031	2		0,07678	4		0,07337	0,07353	— 0,00016
A ohne Kern .	0,22373	2	+ 5	0,15036	2	+ 5	0,07678	4	0	0,07337	0,07358	— 0,00021
A mit Kern . .	0,22371	2	+ 3	0,15032	1	+ 1	0,07676	4	— 2	0,07339	0,07356	— 0,00017
B ohne Kern .	0,22336	6	— 32	0,14997	2	— 34	0,07658	4	— 20	0,07339	0,07339	— 0,00000
B mit Kern . .	0,22272	18	— 96	0,14954	2	— 77	0,07635	2	— 43	0,07318	0,07319	— 0,00001

Tafel 9. (zu Tabelle 9, Spalten 3, 5 und 7)
Flugzeitenmesser N.º 228.

Gemessene Zeit : $0,^{s}073$
Gewichtsstrom : 0,28 Amp.
Zeitmesserstrom : 0,25 Amp.



Abscissen: Aenderungen der E.
Ordinaten: Aenderungen der Markenlagen.
—Disjunctionsmarke ---Messungart I, -·-Messungart II.

Flugzeitenmesser No. 228.

Gemessene Zeit: 0,105 Sekunden.
Gewichtsstrom: 0,28 Amp.
Zeitmesserstrom: 0,25 Amp.

Tabelle 10.

(S. a. Tafel 10.)

Einschaltung der Spulen in den Gewichtsstromkreis.

1	2		3	4		5	6		7	8	9	10
Eingeschaltete Spulen	Messungsart I	Fm	Diff.	Disjunkt.-marke	Fm	Diff.	Messungsart II	Fm	Diff.	Zeit I	Zeit II	Zeit I − Zeit II
	s			s			s			s	s	s
Keine	0,25559	1		0,15035	1		0,04479	3		0,10515	0,10556	− 0,00041
A ohne Kern .	0,25547	2	− 3	0,15023	2	− 12	0,04456	8	− 23	0,10524	0,10567	− 0,00043
A mit Kern . .	0,25559	3	+ 9	0,15039	1	+ 4	0,04486	5	+ 7	0,10520	0,10553	− 0,00033
B ohne Kern .	0,25576	2	+ 26	0,15059	2	+ 24	0,04502	6	+ 23	0,10517	0,10557	− 0,00040
B mit Kern . .	0,25609	3	+ 59	0,15083	1	+ 48	0,04529	6	+ 50	0,10526	0,10554	− 0,00028

Einschaltung der Spulen in den Zeitmesserstromkreis.

	s			s			s			s	s	s
Keine	0,25556	2		0,15037	1		0,04481	0		0,10519	0,10556	− 0,00037
A ohne Kern .	0,25548	3	− 8	0,15029	2	− 8	0,04463	9	− 18	0,10519	0,10566	− 0,00047
A mit Kern . .	0,25545	3	− 11	0,15028	1	− 9	0,04465	3	− 16	0,10517	0,10563	− 0,00046
B ohne Kern .	0,25535	4	− 21	0,15007	1	− 30	0,04463	7	− 18	0,10528	0,10544	− 0,00016
B mit Kern . .	0,25516	3	− 40	0,14965	1	− 72	0,04440	6	41	0,10551	0,10525	+ 0,00026

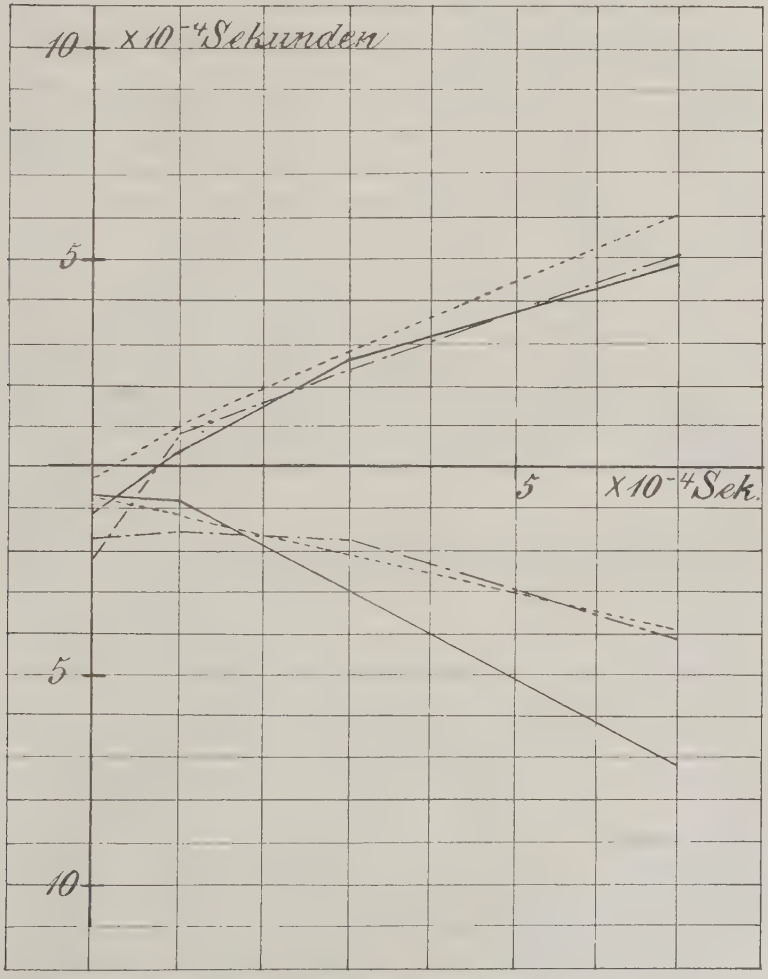
Tafel 10. (zu Tabelle 10, Spalten 3, 5 und 7)

Flugzeitenmesser No. 228.

Gemessene Zeit : $0,^{s}105$

Gewichtsstrom : 0,28 Amp.

Zeitmesstrom : 0,25 Amp.



Abscissen: Aenderungen der E.

Ordinaten: Aenderungen der Markenlagen.

—Disjunctionsmarke, ---Messungart I, —·—Messungart II.

Vita.

Natus sum Richardus Wurtzel Berolini anno 1864 ante diem III. Nonas Octobres patre Rudolpho, architecto, matre Paulina, e gente Schwartz. Fidei addictus sum evangelicae.

Studiis in schola peractis anno 1883 duodeviginti menses in officina machinatoria me exercui. Deinde inter cives universitatis litterarum Berolinensis receptus per triennium in studia physica, mathematica, astronomica incubui.

Docuerunt me viri clarissimi: P. du Bois-Reymond (†), Foerster, Fuchs (†), Glan (†), Jessen (†), König (†), Paulsen, Pernet (†), Pringsheim, Rüdorff (†). Quibus viris omnibus optime de me meritis gratiam habere nunquam desinam.

Ab anno 1887 usque ad annum 1889 coadiutor fui Berolini in instituto rebus physicis et technicis destinato, quod rectore de Helmholtz (†), viro excellentissimo, florebat. Ex eo tempore artem physicam exercui in instituto militari, in quo Bergmanno, viro clarissimo, moderatore rebus physicis et chemicis experiendis operam dant.

Maximas vero gratias ago Wiedemanno, viro illustrissimo, professori Erlangensi, cuius consilio adiutus amplissimos in philosophia honores sum adeptus.